



TESIS - TM 142501

**OPTIMASI KEKUATAN TARIK DAN IMPAK  
MATERIAL BIOKOMPOSIT PADA PROSES MESIN  
CETAK SISTEM INJEKSI MENGGUNAKAN METODE  
*TAGUCHI-GREY-FUZZY***

HIDING CAHYONO  
NRP 2111350010202

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



TESIS-TM 142501

**OPTIMASI KEKUATAN TARIK DAN IMPAK  
MATERIAL BIOKOMPOSIT PADA PROSES MESIN  
CETAK SISTEM INJEKSI MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI-*GREY-FUZZY***

**HIDING CAHYONO**  
NRP. 2111350010202

**DOSEN PEMBIMBING**  
Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



TESIS-TM 142501

# **TENSILE AND IMPACT STRENGTH OPTIMIZATION OF BIOCOMPOSITE MATERIAL ON INJECTION MOLDING PROCESS USING TAGUCHI-*GREY- FUZZY***

HIDING CAHYONO  
NRP. 2111350010202

Advisor  
Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.

MASTER PROGRAME  
FIELD STUDY OF ENGINEERING AND MANUFACTURING SYSTEM  
DEPARTEMENT MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
Hiding Cahyono  
NRP. 2111350010202

Tanggal Ujian: 19 Januari 2018  
Periode Wisuda: Maret 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.  
NIP: 195811061986011002

(Pembimbing)

2. Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D.  
NIP: 197303222001121001

(Penguji)

3. Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.  
NIP: 196912031994031001

(Penguji)

4. Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.  
NIP: 197407032000031001

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Industri

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.  
NIP. 196905071995121001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



# OPTIMASI KEKUATAN TARIK DAN IMPAK MATERIAL BIOKOMPOSIT PADA PROSES MESIN CETAK SISTEM INJEKSI MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY-FUZZY

Nama Mahasiswa : Hiding Cahyono

NRP : 2111350010202

Pembimbing : Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

## ABSTRAK

*Polymer matrix composite* (PMC) merupakan material komposit dengan serat sintetis yang banyak digunakan dalam dunia industri. Kekurangan dari PMC dengan serat sintetis adalah dapat mencemari lingkungan dan harganya mahal. Serat sisal adalah serat alam yang berasal dari tumbuhan *agave sisalana* yang mampu digunakan sebagai alternatif serat sintetis. PMC yang memiliki penguat serat alam disebut sebagai biokomposit. Kualitas dari biokomposit dapat dievaluasi dengan menggunakan kekuatan tarik dan kekuatan impak. Karakteristik kualitas dari kekuatan tarik dan kekuatan impak adalah semakin besar semakin baik (*larger the better*). Agar spesifikasi dari kedua sifat mekanik tersebut tercapai, maka perlu dilakukan optimasi multirespon.

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaturan level-level dari parameter-parameter proses injeksi moulding yang dapat memaksimalkan parameter respon berupa kekuatan tarik dan kekuatan impak secara bersamaan. Biokomposit yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 10 wt% serbuk serat sisal, 85 wt% *polypropylene* (PP) dan 5 wt% *maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Biokomposit dicetak dengan menggunakan mesin cetak sistem injeksi. Hasil pencetakan tersebut berupa spesimen uji tarik dan uji impak. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan empat parameter proses yang masing-masing memiliki 3 level, yaitu *barrel temperature* 210, 215, dan 220 °C, *injection pressure* 50, 55 dan 60 bar, *holding pressure* 35, 40, dan 45 bar dan *injection velocity* 55, 65 dan 75 mm/det. Rancangan eksperimen menggunakan *ortogonal array* L27 (3<sup>4</sup>), dengan replikasi sebanyak tiga kali. Kekuatan tarik diuji dengan mesin uji tarik merk AUTOGRAPH AG-10TE dan uji impak diuji dengan menggunakan mesin mini *impact tester* jenis *charpy*. Optimasi multirespon dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi-Grey-Fuzzy.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter-parameter proses *Barrel Temperatur*, *Injection Pressure*, *Holding Pressure* dan *Injection Velocity* berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak. Kekuatan tarik dan kekuatan impak maksimum dapat dicapai dengan mengatur parameter proses *barrel temperature* pada 210 °C, *injection pressure* pada 55 bar, *holding pressure* pada 40 bar dan *injection velocity* pada 75 mm/det. Dengan

kombinasi parameter tersebut kekuatan tarik meningkat dari 23,09 MPa menjadi 24,42MPa (5,78%) dan kekuatan impak meningkat dari 3,03 kJ/m<sup>2</sup> menjadi 4,30 kJ/m<sup>2</sup> (42,02%).

Kata kunci: parameter proses cetakan injeksi , Taguchi-*grey-fuzzy*, kekuatan tarik, kekuatan impak.

# **TENSILE AND IMPACT STRENGTH OPTIMIZATION OF BIOCOMPOSITE MATERIAL ON INJECTION MOLDING PROCESS USING TAGUCHI-GREY-FUZZY**

Name : Hiding Cahyono

NRP : 2111350010202

Advisor : Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

## **ABSTRACT**

Polymer matrix composite (PMC) is a composite material with synthetic fibers that are widely used in the industrial application. The deficiency of PMC with synthetic fibers usage could contaminate environment and expensive. Sisal fiber is a natural fiber derived from agave sisalana plants that can be used as an alternative to synthetic fibers. PMCs that have natural fiber reinforcement are referred to as biocomposites. The quality of the biocomposite can be evaluated by using tensile strength and impact strength. The quality characteristic of tensile strength and impact strength is the larger the better. In order to obtain a higher mechanical properties simultaneously, it is necessary to do multiresponse optimization.

This experiment was conducted to determine the setting of the levels of the injection molding process parameters that can maximize the response parameters of tensile strength and impact strength simultaneously. The biocomposites used in this study consisted of 10 wt% sisal fiber, 85 wt% polypropylene (PP) and five wt% (maleic anhydride polypropylene) MAPP. The biocomposite is then made using an injection molding machine. The final product of this injection molding machine is in the form of tensile test and impact test specimens. Experiments were conducted by varying the four process parameters which each had three levels, namely barrel temperature, injection pressure, holding pressure and injection velocity. Barrel temperature varied by 210, 215, and 220 °C. Injection pressure is varied by 50, 55 and 60 bar. Holding pressure varied by 35, 40, and 45 Bar. Injection velocity varied by 55, 65 and 75 mm/s. This experimental design was established using an orthogonal array  $L_{27} (3^4)$ , with three time replication. Tensile strength was tested using Autograph AG-10TE tensile test machine and the impact test was tested using a mini-impact machine charpy test method. Multiresponse optimization was done using the Taguchi-Gray-Fuzzy method.

The results are Barrel Temperature, Injection Pressure, Holding Pressure and Injection Velocity parameters had a significant effect on tensile strength and impact strength. Tensile strength and maximum impact strength can be achieved by adjusting the barrel temperature process variables at 210 °C, injection pressure at 55 bar, holding pressure at 40 bar and injection velocity at 75 mm/s. With these

parameters the tensile strength increased from 23,09 MPa to 24,42MPa (5,78%) and impact strength increased from 3,03 kJ/m<sup>2</sup> to 4,30 kJ/m<sup>2</sup> (42,02%).

**Keywords:** Injection molding parameters process, Taguchi-grey-fuzzy, tensile strength, impact strength.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis dengan judul “**OPTIMASI KEKUATAN TARIK DAN IMPAK MATERIAL BIOKOMPOSIT PADA PROSES MESIN CETAK SISTEM INJEKSI MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY-FUZZY**” disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr.Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, petuah serta bimbinganya sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Prabowo, M.Eng., Kepala Program Studi Pascasarjana Departemen Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng., Ph.D., bapak Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D., dan bapak Dr.Eng. Sutikno, S.T., M.T., sebagai dosen penguji, atas saran dan masukan yang telah diberikan untuk menyempurnakan tesis ini.
4. Seluruh karyawan departemen Teknik Mesin khususnya mbak Selly yang banyak membantu dalam penyelesaian pengerjaan tesis ini.
5. Istriku tercinta Wida Rahayu S. S.E., dan calon anakku, yang telah memberikan perhatian, motivasi kasih sayang dan cintanya.
6. Romo Sastro – Ibu Marni; Kangmas Nyuwito, S.Pd., & keluarga; Kangmas Daryanto; Kangmas Darsono, S.E., & keluarga; Mbak Ayu Suprianik, S.T., & keluarga; Kangmas Supriono, S.Sos., M.AB., & keluarga; terima kasih telah memberiku doa restu, bantuan materi, nasehat sekaligus cambukan agar aku tetap semangat.



7. Keluarga Ayahanda Sutarno-Bunda Winarsih; Mas Indra Hoki Dekaisaro, S.T., Mbak Ririn Gustin Ambarwati, A.Md., Dek Trisula Melati, S.E., keponakan Lucky Fadilla Dekaisaro yang telah memberikan semangat dan doa restu.
8. Teman-teman Teknik Mesin, khususnya Bidang Rekayasa dan Sistem Manufaktur: Sufiyanto, Tenny, Dio, Moh. Muzaki, Balkhaya, Ali Sai'in, Benedictus, Firman, Anhar, Abid, Jariyanti, Faisal Manta, Boy, Angga, dan Fendik yang telah bersama berjuang dalam menuntut ilmu.
9. Teman-teman LAB. P3 Teknik Mesin Ayek, Simbah, Tuba, Teddy, Rado, dan yang lainnya yang telah membantu terselesaikannya tesis ini.
10. Sahabat karib Andhi (Kethik), Agus (Momon), Supri (Badrun), Jarot (KJ), Nero, Sito (Ciples) untuk semua kebahagiaan dan pengalaman yang dibagi selama ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tesis ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis senantiasa berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Semoga hasil dari laporan tesis ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA.....	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Asumsi Penelitian .....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Kajian Pustaka .....	7
2.2 Material Biokomposit .....	9
2.2.1 Serat Sisal.....	10
2.2.2 <i>Polypropylene</i> (PP) .....	11
2.3 Mesin cetak sistem injeksi ( <i>Injection Molding</i> ).....	12
2.3.1 Siklus Proses Cetakan Injeksi .....	13
2.3.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Proses Cetakan Injeksi ...	14
2.4 Desain Eksperimen Metode Taguchi .....	14
2.5 Metode Taguchi- <i>Grey-Fuzzy</i> .....	23
2.6 Interpretasi Hasil Eksperimen.....	30
2.7 Eksperimen Konfirmasi .....	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	33
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Parameter Penelitian .....	34
3.2.1 Parameter Proses .....	34
3.2.2 Parameter Respon.....	34
3.2.3 Parameter Konstan .....	34
3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	35
3.3.1 Peralatan Penelitian.....	35
3.3.2 Bahan Penelitian.....	38
3.4 Rancangan Percobaan .....	38
3.4.1 Pengaturan Parameter Proses pada Mesin Cetak Sistem Injeksi	38
3.4.2 Pemilihan matrik ortogonal.....	39
3.4.2.1 Menentukan Derajat Kebebasan .....	39
3.4.2.2 Pemilihan Matriks Ortogonal .....	39
3.4.3 Proses Pembuatan Biokomposit.....	41
3.4.4 Proses Pencetakan Spesimen.....	42
3.4.5 Pengujian Spesimen .....	42

3.5 Pengolahan Data.....	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Hasil Penelitian .....	47
4.1.1 Hasil Pengukuran DSC.....	47
4.1.2 Parameter Proses Cetakan Sistem Injeksi.....	48
4.2 Pengolahan Data Penelitian.....	49
4.2.1 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N .....	51
4.2.2 <i>Deviation Sequence</i> dan <i>Grey Relational Coefficient</i> (GRC) .....	54
4.2.3 <i>Fuzzification</i> .....	55
4.2.4 Pengelompokan <i>Fuzzy Rules</i> .....	56
4.2.5 <i>Grey Fuzzy Reasoning Grade</i> (GFRG) .....	57
4.2.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi.....	59
4.2.7 Pengujian Asumsi Residual .....	61
4.2.8 Prediksi Multi Respon Optimum.....	64
4.3 Percobaan Konfirmasi .....	65
4.4 Perbandingan antara Respon Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum .....	66
4.5 Analisis Pengaruh Parameter Proses Terhadap Parameter Respon..	68
4.5.1 <i>Barrel Temperature</i> .....	68
4.5.2 <i>Injection Presssure</i> .....	69
4.5.3 <i>Holding Pressure</i> .....	69
4.5.4 <i>Injection Velocity</i> .....	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA .....	73
BIOGRAFI PENULIS.....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian Umum Mesin Cetak Sistem Injeksi (Gastrow, 2002).....	13
Gambar 2.2 Langkah-langkah optimasi Taguchi- <i>Gery-Fuzzy</i> .....	24
Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan kurva segitiga .....	27
Gambar 2.4 Fungsi keanggotaan kurva trapesium.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 3.2 Mesin <i>Bond Ball Mill</i> .....	35
Gambar 3.3 Mesin <i>Oven</i> .....	36
Gambar 3.4 Mesin <i>Injection Molding</i> HAITIAN-MA900/260e .....	36
Gambar 3.5 Spesifikasi Mesin <i>Injection Molding</i> HAITIAN-MA tipe 900/260 e .....	37
Gambar 3.6 Mesin Uji Tarik AUTOGRAPH AG-10TE .....	37
Gambar 3.7 Mesin <i>Mini Impact Tester</i> jenis <i>charpy</i> .....	38
Gambar 3.8 Proses Pengeringan Menggunakan <i>Oven</i> .....	42
Gambar 4.1 Pelet Biokomposit.....	47
Gambar 4.2 Kurva <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC) .....	48
Gambar 4.3 Spesimen Pengujian Tarik ASTM D 638-03 tipe V .....	50
Gambar 4.4 Spesimen Pengujian Impak ASTM D256-04 .....	50
Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata GFRG Multi Respon Pada tiap level Faktor.....	58
Gambar 4.6 Grafik Uji Distribusi Normal .....	62
Gambar 4.8 Grafik Uji Identik <i>Versus Observation Fits</i> .....	63

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>Polypropylene</i> (PP) .....	12
Tabel 2.2 Pemilihan Matriks Ortogonal .....	18
Tabel 2.3 Tabel Analisis Variansi.....	19
Tabel 2.4 Penempatan Rasio S/N .....	25
Tabel 2.5 Respon <i>grey fuzzy reasoning grade</i> .....	29
Tabel 3.1 Parameter proses dan pengaturan level .....	39
Tabel 3.2 Derajat kebebasan parameter proses dan level .....	39
Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Berdasarkan Matriks Ortogonal $L_{27}(3^4)$ .....	40
Tabel 3.4 Data Respon Eksperimen.....	41
Tabel 3.5 Nilai Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N.....	44
Tabel 3.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi .....	45
Tabel 4.1 Data hasil percobaan.....	50
Tabel 4.2 Data Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N .....	53
Tabel 4.4 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Rule</i> .....	56
Tabel 4.5 Pengelompokkan <i>Fuzzy Rule</i> .....	57
Tabel 4.6 Data Multi Respon <i>Grey Fuzzy Reasoning Grade</i> (GFRG) .....	57
Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Multi Respon GFRG pada Masing-Masing Level Faktor	58
Tabel 4.8 Kombinasi Parameter Proses Respon Optimum.....	59
Tabel 4.9 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi .....	60
Tabel 4.10 Data Respon Percobaan Konfirmasi .....	65
Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Data Percobaan Konfirmasi .....	65
Tabel 4.12 Pengaturan level kombinasi awal .....	66
Tabel 4.13 Perbandingan respon hasil kombinasi awal dan respon hasil kombinasi	67
Tabel 4.14 Rasio S/N kombinasi awal.....	67
Tabel 4.15 Perbandingan GFRG kondisi awal dan kondisi optimum .....	68
Tabel 4.16 Perbandingan respon individu pada kondisi awal dan kondisi optimum	68

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses mesin cetak sistem injeksi merupakan salah satu proses pencetakan material secara tertutup (*closed-mold processes*), dimana proses ini adalah yang paling populer untuk pencetakan atau pembentukan material termoplastik. Dalam pengerjaannya material dipanaskan hingga meleleh selanjutnya material yang meleleh diinjeksi dengan tekanan tinggi kedalam rongga cetakan sampai membeku. Setelah dilakukan pendinginan, hasil cetakan dikeluarkan dari rongga cetakan (Groover, 2010).

Material polimer saat ini banyak digunakan dalam dunia industri, baik pada industri besar maupun industri kecil. Polimer termasuk material yang mudah diolah dan dapat digabungkan dengan material lain dalam bentuk komposit yang disebut dengan *polymer matrix composite* (PMC). Pembuatan PMC masih banyak yang menggunakan bahan berpenguat serat sintetis, dimana serat sintetis tersebut kurang ramah lingkungan dan harganya cukup mahal. Untuk itu perlu adanya serat pengganti yang ramah lingkungan dengan harga murah, seperti dengan memanfaatkan serat alam yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, contohnya adalah tumbuhan *Agave Sisalana* (sisal). Sisal merupakan serat alami dari rumpun *Agavaceae* (Agave). Tumbuhan agave terutama jenis *Agave sisalana* (sisal) merupakan tanaman penghasil serat alam yang potensial dengan keunggulan serat kuat, tahan terhadap kadar garam tinggi, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Serat alam agave banyak dimanfaatkan dalam dunia industri antara lain industri kuas, pembungkus kabel, kerajinan rumah tangga, campuran karpet, karung, geotekstil, jala ikan, tali-temali, dan bahan interior mobil (Santoso, 2009). Kombinasi PMC menggunakan penguat serat alam disebut dengan polimer biokomposit.

Beberapa penelitian tentang pencetakan material biokomposit telah dilakukan dengan proses mesin cetak sistem injeksi. Diantaranya Navin Chand pada tahun 2012, dalam pembuatan biokomposit *polyolefin* dengan penguat serat

sisal (*Agave Sisalana*). *Polyolefin* yang digunakan dalam percobaan Chand adalah *low-density polyethylene* (LDPE), *linear low-density polyethylene* (LLDPE), dan *polypropylene* (PP). Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya penurunan temperature leleh pada spesimen LDPE dan LLDPE seiring dengan penambahan serat sisal. Sedangkan pada spesimen PP terjadi fluktuasi temperatur leleh seiring dengan penambahan serat sisal. Serta terdapat peningkatan *tensile strength* pada spesimen LDPE dan LLDPE namun terjadi penurunan *tensile strength* pada spesimen PP. Penurunan tersebut disebabkan karena adanya bonding yang buruk diantara partikel PP dengan serat nano selulosa sisal. Hal tersebut dapat ditanggulangi dengan penggunaan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP) sebagai perekat. Penelitian yang menggunakan bahan pelet hasil dari campuran serat sisal dan *polypropylene* juga diteliti oleh (Kc dkk., 2015) dengan komposisi *Polypropylene homopolimer* 40 g/10 menit, serat sisal dengan panjang serat 3-5 mm *glass fiber* (GF) dan kepadatan 2,5 g/cc. Hasil dari penelitian tersebut adalah didapatkan pengaturan cetak injeksi yang optimal untuk meminimalkan *Shrinkage* adalah tekanan injeksi 90 bar, suhu mencair 210 °C, temperatur cetakan 40 °C, waktu pendinginan 40 s sementara *holding pressure* optimal adalah 70 bar.

Pengaturan parameter proses mesin cetak sistem injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk akhir seperti sifat mekanik dari produk (Sufiyanto, 2016). Salah satu cara untuk mengetahui pengaturan parameter yang tepat adalah dengan metode optimasi. Beberapa metode yang dapat mengoptimalkan respon proses seperti diantara Taguchi, *respon surface*, *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dll. Penelitian tentang optimasi respon proses mesin cetak sistem injeksi menggunakan metode Taguchi-Grey-Fuzzy untuk meningkatkan kekuatan tarik dan impak material biokomposit dilakukan oleh (Sufiyanto, 2016). Variabel proses yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *barrel temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *injection velocity*. Hasil akhir yang diinginkan dari penelitian tersebut adalah variabel respon, yaitu kekuatan tarik dan kekuatan impak. Rancangan matriks orthogonal yang digunakan adalah L27 ( $3^4$ ). Dari hasil perhitungan *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) diperoleh level dari masing-masing parameter proses yang

menghasilkan respon optimum, yaitu *barrel temperature* 210 °C, *injection pressure* 55 bar, *holding pressure* 40 bar dan *injection velocity* 75 mm/det.

Sementara Wisnu (2017), Basya (2017), melakukan studi eksperimental tentang pembuatan biokomposit dengan serat sisal. Pada percobaan tersebut komposisi biokomposit yang menghasilkan titik leleh tertinggi adalah biokomposit dengan komposisi 10 wt% serat sisal, 5 wt% MAPP, dan 85 wt% *polypropylene*. Selanjutnya komposisi biokomposit tersebut dicetak menjadi spesimen uji tarik dengan standar ASTM D 638-03 tipe V dan spesimen uji impak dengan standar ASTM D256-04. Hasil dari penelitian tersebut adalah uji impak rata-rata 1,54 kJ/mm<sup>2</sup>, dan uji tarik rata-rata sebesar 30,45 MPa dengan perpanjangan rata-rata 69,12 %. Penelitian tersebut belum dilakukan optimasi respon, optimasi dilakukan dengan memvariasikan parameter proses yang meliputi *barrel temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *injection velocity*. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kombinasi parameter proses yang terbaik untuk material biokomposit. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi respon dengan menggunakan metode optimasi taguchi-grey-fuzzy.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah faktor *Barrel Temperature*, *Injection Pressure*, *Holding Pressure*, dan *Injection Velocity* mempengaruhi secara signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak
2. Berapa kombinasi *setting* parameter yang tepat agar kekuatan tarik dan kekuatan impak optimal secara serentak.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang diberlakukan pada penelitian ini agar dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah biokomposit campuran dari 10 wt% serbuk serat sisal, 5 wt% MAPP, dan 85 wt% *polypropylene*.



2. Mesin injeksi yang digunakan adalah mesin *injection molding* HAITIAN MA type 900/260 e yang berada di *workshop* Teknik Mesin ITS.
3. Pengujian tarik sepesimen menggunakan mesin AUTOGRAPH AG-10TE di laboratorium Farmasi UNAIR.
4. Pengujian tarik sepesimen menggunakan mesin *Mini Impact Tester tipe Charpy* dengan kapasitas 0,5-22 J di *workshop* Teknik Mesin ITS.

#### **1.4 Asumsi Penelitian**

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan sebagai biokomposit berasal dari daerah yang sama.
2. Parameter proses cetakan injeksi yang tidak diteliti dianggap selalu konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil penelitian.
3. Mesin injeksi molding bekerja dalam kondisi yang baik.
4. Alat uji yang digunakan dalam keadaan baik.

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui parameter proses mesin cetak sistem injeksi yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak material biokomposit yang dibuat dari serbuk serat sisal, PP dan MAPP.
2. Menentukan parameter proses mesin cetak sistem injeksi yang tepat agar mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak yang optimal pada material biokomposit.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah *database* tentang pengaturan parameter pada proses cetakan injeksi untuk mengoptimalkan kekuatan tarik dan kekuatan impak pada material biokomposit.
2. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang optimasi proses cetakan injeksi.
3. Digunakan sebagai masukan kepada industri plastik untuk memanfaatkan biokomposit sebagai bahan alternatif yang dapat dilakukan dengan mesin cetakan injeksi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Sudhakara dkk (2013) membuat material biokomposit dari serat sisal, *polypropylene* (PP) dengan *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) sebagai kompatibiliser. Dengan tujuan untuk mengurangi biaya komposit biodegradable serta untuk meningkatkan kekuatan dampak PLA menggunakan PP, termoplastik yang relatif lebih murah. Komposit yang dikembangkan ditandai untuk sifat morfologi dan mekanik mereka. Kekuatan tarik dan modulus dari campuran yang menurun dengan meningkatnya PP konten sedangkan regangan pada istirahat dan kekuatan dampak yang meningkat. Kekuatan tarik, modulus dan daya serap air yang meningkat untuk komposit hibrida dengan meningkatnya kandungan serat.

Subasinghe dkk (2015) membuat material biokomposit dari *polypropylene* (PP), *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) dan serat kenaf. Proses pengolahan material dilakukan dengan cara pengeringan PP dan MAPP pada temperatur 80 °C selama 12 jam. Sedangkan kenaf dikeringkan pada temperatur 70 °C selama 40 jam. Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa hasil pengujian tarik dan impak dipengaruhi oleh komposisi biokomposit yang homogen. Untuk memperoleh kehomogenan tersebut, biokomposit harus dicampur menggunakan mesin *Twin-Screw Extruder*. Kecepatan putaran yang digunakan untuk mesin tersebut sebesar 150 rpm, hasil yang diperoleh adalah campuran biokomposit dalam bentuk pelet. Biokomposit yang berbentuk pelet dicetak dengan menggunakan mesin cetakan injeksi. Hasil cetakan adalah spesimen uji tarik ASTM D638 dan uji impak ASTM D6110.

KC dkk (2015) melakukan optimasi parameter proses cetak sistem injeksi dengan metode Taguchi. Parameter proses dari faktor (level) yang divariasikan adalah *injection pressure* (80 dan 90 bar), *melt temperature* (190, 200 dan 210 °C), *mold temperature* (40, 50 dan 60 °C), *holding pressure* (50, 60 dan 70 bar), *cooling time* (35, 40 dan 45 s) serta *hold time* (4, 6 dan 8 s). Rancangan

eksperimen menggunakan *orthogonal array* L<sub>18</sub>, dengan respon yang diambil adalah *shrinkage*. Bahan yang digunakan pada penelitian tersebut adalah pelet biokomposit yang berasal dari serat sisal, serat kaca dan PP. Pelet biokomposit dicetak menjadi produk plakat berbentuk persegi panjang. Sewaktu melakukan proses cetak sistem injeksi, setiap pengaturan kondisi proses tersebut dilakukan penstabilan suhu selama 5 menit untuk pencetakan selanjutnya. Sampel cetakan pertama dan kedua dibuang, lalu sampel ke 3 yaitu sampel terakhir yang digunakan untuk pengukuran *shrinkage*. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengurangi terjadinya *shrinkage* dari produk yang dicetak. Hasil penelitian tersebut dapat diaplikasikan sebagai bahan pengganti untuk *interior* dan *eksterior* dibidang otomotif.

Kuram dkk (2013) melakukan optimasi parameter proses cetak sistem injeksi dan daur ulang *polyamide (nylon 6)* terhadap sifat mekanis menggunakan metode Taguchi. Parameter proses cetak sistem injeksi yang divariasikan adalah *number of recycling, melt temperature, mold temperature, injection pressure* dan *holding pressure*. Adapun respon dari penelitian tersebut adalah sifat mekanis yang meliputi kekuatan tarik dan kekuatan impak.

Singh dkk (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses injeksi moulding terhadap kekuatan tarik menggunakan metode taguchi. Material yang digunakan adalah *polypropylene (PP)*, parameter proses cetak injeksi adalah *melting temperature* (200, 220 dan 240 °C), *injection pressure* (22, 25, 28 MPa), *packing pressure* (14, 17 dan 20 MPa), *packing time* (5, 10, dan 15 s). Rancangan eksperimen menggunakan *orthogonal array* L<sub>27</sub>, dengan respon yang diambil adalah kekuatan tarik. Hasil penelitian tersebut kombinasi parameter yang optimal adalah *melting temperature* 240 °C, *injection pressure* 25 MPa, *packing pressure* 20 MPa, *packing time* 5 s.

Sufiyanto (2016) melakukan optimasi parameter proses cetakan injeksi menggunakan metode taguchi-grey-fuzzy untuk meningkatkan kekuatan tarik dan impak material biokomposit. Bahan yang digunakan adalah sekam padi (RH) yang memiliki ukuran partikel 500 µm (35 mesh). Sekam padi ini dicampur dengan *polypropylene (PP)* dan *maleic anhydride polypropylene (MAPP)*. Komposisi biokomposit yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 wt% RH,

85 wt% PP dan 5 wt% MAPP. Proses pembuatan biokomposit dilakukan dengan menggunakan mesin cetakan injeksi. Optimalisasi pada proses cetakan injeksi dilakukan desain eksperimen dengan pemilihan matriks ortogonal  $L_{27} (3^4)$  yang terdiri dari 4 parameter, dimana masing-masing parameter proses memiliki 3 level. Penggabungan beberapa respon dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic*. Pengubahan input menjadi bilangan *fuzzy* dengan *grey relational analysis* merupakan pendekatan untuk mengubah optimasi kedalam bentuk *grey fuzzy*. Dari hasil perhitungan *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) diperoleh level dari masing-masing parameter proses yang menghasilkan respon optimum, yaitu *barrel temperature* sebesar 210 °C, *injection pressure* 55 bar, *holding pressure* 40 bar dan *injection velocity* 75 mm/det.

Salamoni (2017) melakukan penelitian optimasi kekuatan tarik dan kekuatan impact material biokomposit pada proses mesin cetak sistem injeksi menggunakan metode *backpropagation neural network* (BPNN) dan *genetic algorithm* (GA), dimana dalam penelitian tersebut parameter mesin cetak sistem injeksi yang digunakan adalah *barrel temperature*, *injection pressure*, *holding pressure* dan *injection velocity*. Dari penelitian ini diperoleh kombinasi parameter proses yang menghasilkan nilai optimum pada kekuatan tarik dan kekuatan impact material biokomposit adalah *barrel temperature* sebesar 217 °C, *injection pressure* 55 bar, *holding pressure* 41 bar dan *injection velocity* 65 mm/det.

## 2.2 Material Biokomposit

Biokomposit atau *green composite* didefinisikan sebagai material komposit yang tersusun dari biofiber atau serat alami yang dapat terdegradasi sebagai penguatnya dan polimer yang tidak dapat terdegradasi (*non-biodegradable*) atau yang dapat terdegradasi (*biodegradable*) sebagai matriksnya. Matrik dari polimer ini bisa berasal dari sumber daya terbarukan dan tak terbarukan. Dalam pembuatannya, material biokomposit yang berasal dari serat alami dapat disesuaikan berdasarkan komposisi desain selektif dan pengolahan. Serat alam merupakan *filler* dari biokomposit yang berasal dari tumbuh-tumbuhan misalnya serat dari tanaman kapas, sekam, rami, kayu daur ulang, limbah kertas dan serat selulosa (Pilla, 2011).

### 2.2.1 Serat Sisal

Sisal merupakan serat alami (nama ilmiah adalah *Agave sisalana*) dari keluarga *Agavaceae* (*Agave*). Tumbuhan *agave* terutama terutama jenis *Agave sisalana* (sisal) tanaman perdu dengan daun berduri berbentuk pedang menjulang sepanjang 1-2 m, tanaman ini dapat menghasilkan serat alam potensial dengan keunggulan serat kuat, tahan terhadap kadar garam tinggi, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan serta perawatan yang rendah. Tanaman Sisal berasal dari Meksiko tenggara yang beriklim sedang, dan berkembang ke daerah subtropis dan tropis seiring dengan berkembangnya kebutuhan serat untuk industri. Serat alam *agave* banyak dimanfaatkan antara lain dalam industri rumah tangga, bahan interior mobil dan tali-temali. Produksi serat *agave* dunia pernah mencapai 300.000 ton yang dihasilkan dari Brazil, China, Kenya, Tanzania, Madagaskar, Indonesia dan Thailand. *Agave* masuk di Indonesia pada awal abad ke-19, yaitu sebelum perang dunia ke II (Santoso, 2009). Serat sisal merupakan serat keras yang dihasilkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal (*Agave sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari Amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat dan Timur. Tanaman sisal dapat menghasilkan 200 - 250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4 %serat, 0,75 %kutikula, 8 %material kering, dan 87,25 %air (Kusumastuti, 2009).

Sisal dibawa ke Indonesia pada tahun 1913. Tanaman sisal sebagian besar ditanam di lereng-lereng bukit berkapur dan beriklim kering. Di Indonesia, tanaman sisal dikembangkan di Malang selatan, Jember dan Blitar selatan. Para petani menanam tanaman sisal ditumpangsari dengan palawija seperti jagung, kacang tanah, atau kacang kedelai. Di Indonesia serat sisal digunakan sebagai bahan kerajinan tali talian, tas, karpet maupun kemasan buah. Namun serat sisal masih mempunyai banyak potensial yang belum dikembangkan seperti sebagai material komposit yang murah, ringan dan kuat.

Proses ekstraksi serat sisal secara mekanis. Proses ekstraksi ada dua yaitu:

- 1) Ekstraksi dengan dekortikator akan menghasilkan 2 – 4 %serat (15 kg per 8 jam proses) yang berkualitas baik dengan kilau yang tinggi.



- 2) Proses ekstraksi dengan pembusukan akan menghasilkan serat dengan jumlah yang banyak namun dengan kualitas rendah.

### 2.2.2 *Polypropylene* (PP)

*Polypropylene* (PP) merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. PP merupakan polimer dengan penggunaan terbesar ketiga di dunia. PP dapat kita temui dalam berbagai aplikasi mulai dari peralatan rumah tangga, kemasan, tali, tekstil, plastik, label, komponen otomotif dll (Groover, 2010; Defonseka, 2014).

Sifat-sifat PP serupa dengan sifat-sifat *Polyethylene*. Termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer, dan dapat terbakar bila dinyalakan dibandingkan HDPE. *Polypropylene* memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan, yaitu:

Keunggulan:

1. Titik lelehnya tinggi (160 – 176 °C) dan densitasnya rendah (0,9 - 2,2 gr/cm<sup>3</sup>)
2. Tahan korosi
3. Merupakan kelompok yang paling ringan di antara kelompok polimer
4. Mudah diproses dan banyak digunakan untuk proses produksi

Kelemahan:

1. Daya penghantar panas dan listrik rendah
2. Apabila dibakar akan menimbulkan bau menyengat

Berdasarkan karakteristiknya PP dapat disintesis dalam struktur isotaktik, sindiotaktik atau struktur ataktik yang merupakan pilihan utama karena memiliki karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, selain itu juga memiliki nilai kekerasan sebesar 7 HB. PP merupakan material polimer yang paling ringan dari polimer lainnya dan memiliki rasio yang tinggi antara kekuatan dan berat. PP sering dibandingkan dengan HDPE karena memiliki harga yang cukup murah serta sifat yang hampir sama, namun titik leleh PP lebih tinggi dari pada HDPE yaitu sebesar 176 °C (Groover, 2010). Sedangkan indeks aliran leleh (*melt flow index*) sebesar 25 g/10 menit pada temperatur 230 °C dengan massa 2,16 kg (Yeh dkk, 2014).

Tabel 2.1 Karakteristik *Polypropylene* (PP)

<i>General Properties of Generic Unfilled PP Homopolimer</i>	
<i>Specific Gravity</i>	0,9
<i>Tensile Modulus</i> (GPa)	1,172
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	27,58
<i>Shrinkage</i> (%)	0,5 - 2
<i>T<sub>m</sub></i> (°C)	165 - 170
<i>Process Temperature</i> (°C)	199 - 274
<i>Mold Temperature</i> (°C)	30 - 80
<i>Drying Temperature</i> (°C)	80
<i>Drying Time</i> (h)	2 - 5

Sumber: Campo, (2006)

### 2.3 Mesin cetak sistem injeksi (*Injection Molding*)

Proses Injeksi molding adalah pembentukan material termoplastik di mana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh *plunger* ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi kedalam rongga cetakan sampai membeku. Setelah dilakukan pendinginan, hasil cetakan dikelurakan dari rongga cetakan (Groover, 2010). Didalam mesin injeksi molding terdapat 3 bagian utama (gambar 2.1) yaitu:

#### 1. *Clamping unit*

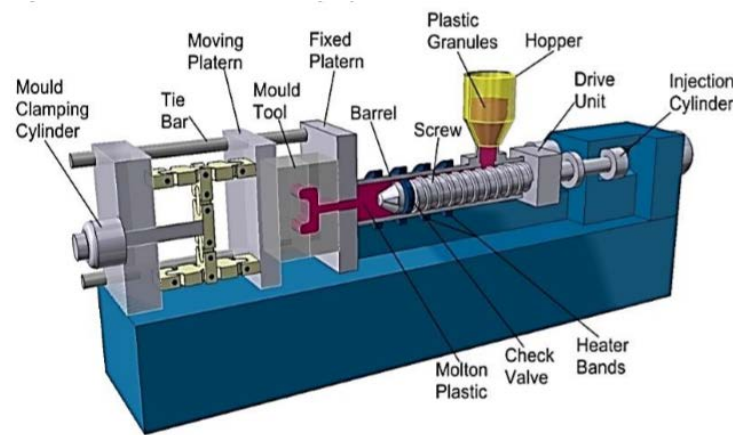
*Clamping unit* merupakan tempat untuk menyatukan molding. *Clamping system* sangat kompleks, dan di dalamnya terdapat mold (cetakan), dwelling untuk memastikan mold terisi penuh oleh resin, *injection* untuk memasukan resin melalui *sprue*, *ejection* untuk mengeluarkan hasil cetakan plastik dari molding.

#### 2. *Injection unit*

*Injection unit* merupakan bagian untuk memasukan pellet plastik (resin) dan pemanasan. Bagian dari *Injection unit*: *Hopper* (untuk memasukan resin); *Screw* (untuk mencampurkan material supaya merata); *Barrel*; *Heater* dan *Nozzle*.

### 3. *Drive unit*

*Drive unit* untuk melakukan kontrol kerja dari *injection molding*, terdiri dari motor untuk menggerakkan *screw*; *injection piston* menggunakan *hydraulic system* (sistem pompa) untuk mengalirkan fluida dan menginjeksi resin cair ke mold.



Gambar 2.1 Bagian Umum Mesin Cetak Sistem Injeksi (Gastrow, 2002)

#### 2.3.1 Siklus Proses Cetakan Injeksi

*Injection molding* merupakan proses yang bersifat siklus, artinya langkah kerja yang sama dilakukan diulang-ulang secara terus menerus. Langkah kerja utama pada proses injeksi bisa dijelaskan sebagai berikut: (1) Kondisi cetakan (*clamp*) menutup. (2) Unit injeksi maju hingga antara *nozzle* merapat ke *fixed plate* dari cetakan. (3) *Screw* berputar dan maju sehingga material plastik dengan tekanan dan temperatur tinggi diinjeksikan ke dalam *cavity*. (4) *Packing* adalah saat dimana material mampat pada cetakan. (5) Fase *Holding time*, merupakan waktu tunggu sampai material plastik membeku seluruhnya, baik produk cetakan, gate, dan salurannya sehingga siap dikeluarkan. (6) Unit injeksi kembali mundur dengan maksud agar *sprue bush* tidak terkena panas dari *nozzle*. (7) Cetakan terbuka, yaitu *moving plate* bergerak mundur (ke kiri) kemudian *ejector* bergerak maju mendorong produk yang menempel pada sisi *core* dan produk keluar.

### 2.3.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Proses Cetakan Injeksi

Terdapat banyak parameter proses yang digunakan untuk mengontrol proses (Basya, 2017) diantaranya sebagai berikut:

- a. *Injection Time* merupakan waktu pengisian plastik leleh sampai *cavity* terisi penuh oleh lelehan plastik.
- b. *Injection pressure* adalah jumlah tekanan yang dibutuhkan untuk mengisi cairan material kedalam rongga cetakan (*mold cavity*).
- c. *Clamping Force* merupakan gaya cekam mesin, dimana dalam mengatur *clamping force* harus tepat, *clamping force* terlalu besar akan mengakibatkan *air trap* (udara terjebak) di *cavity*, dan sebaliknya ketika terlalu rendah akan mengakibatkan cacat *flash*.
- d. *Injection velocity* berfungsi untuk mengatur injeksi material tiap mm/detik-nya.
- e. *Cooling time* adalah waktu yang diperlukan untuk mendinginkan produk setelah pengisian. Lamanya waktu pendinginan dihitung setelah *holding pressure* sampai waktu membuka.
- f. *Holding time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk membentuk secara keseluruhan rongga cetak setelah terisi penuh, sampai tekanan akhir selesai dilakukan membentuk produk. *Holding time* berpengaruh terhadap kepadatan produk. Proses *holding* terjadi setelah *injection*. Semakin lama *holding time* maka produk akan lebih padat.
- g. *Holding Pressure* adalah tekanan yang dibutuhkan untuk membentuk secara keseluruhan rongga cetak setelah terisi penuh, sampai tekanan akhir selesai dilakukan membentuk produk.
- h. *Barrel temperature* adalah temperatur yang berasal dari elemen pemanas yang dilengkapi dengan *thermocouple* pada bagian *barrel*. *Barrel temperature* ini yang berada diantara *nozzle temperature* dan *hopper temperature*.

## 2.4 Desain Eksperimen Metode Taguchi

Metode taguchi diaplikasikan oleh perusahaan-perusahaan manufaktur jepang dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses. Penekanan lebih diutamakan pada rancangan kualitas pada produk dan proses, bukan pada taraf inspeksi pada produk. Metode taguchi bertujuan untuk memperbaiki kualitas

produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009). Sedangkan sasarannya, yaitu menjadikan produk memiliki sifat yang kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*) atau disebut juga dengan *robust design*.

Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009):

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robust* terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Namun demikian, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, sehingga pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen adalah proses mengevaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Untuk mencapai hal tersebut secara efektif, faktor dan level faktor dibuat bervariasi kemudian hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati sehingga kumpulan hasil selengkapnya dapat dianalisis. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan tindakan yang dapat membuat perbaikan lebih lanjut.

Secara umum, prosedur eksperimen desain eksperimen Taguchi dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Ketiga tahap tersebut adalah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

## 1. Tahap perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting. Pada tahap ini seseorang peneliti dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan informasi positif atau negatif. Informasi positif terjadi apabila hasil eksperimen memberikan indikasi tentang faktor dan level yang mengarah pada peningkatan performansi produk. Informasi negatif terjadi apabila hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi respon. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

### a. Perumusan masalah

Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan kedalam eksperimen yang akan dilakukan.

### b. Penentuan tujuan eksperimen

Tujuan eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang diteliti.

### c. Penentuan respon

Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.

### d. Pengidentifikasian faktor/variabel bebas

Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini, akan dipilih faktor-faktor yang Akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

### e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan

sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.

f. Penentuan jumlah dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin banyak.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar eksperimen harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh eksperimen tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

- 1) Derajat kebebasan *orthogonal array* ( $V_{OA}$ ) untuk menentukan jumlah eksperimen yang diamati adalah:

$$V_{OA} = \text{banyaknya eksperimen} - 1 \quad (2.1)$$

- 2) Derajat kebebasan faktor dan level ( $V_{fl}$ ) untuk menghitung jumlah level yang harus diuji atau diadakan pengamatan pada sebuah faktor adalah sebagai berikut:

$$V_{fl} = \text{banyaknya level} - 1 \quad (2.2)$$

- 3) Untuk mengetahui derajat kebebasan dari sebuah matriks eksperimen atau total derajat kebebasan adalah:

$$\text{Total } V_{fl} = (\text{banyaknya faktor}) \cdot (V_{fl}) \quad (2.3)$$

h. Pemilihan matriks ortogonal

Taguchi merekomendasikan penggunaan matriks ortogonal untuk membuat desain parameter seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.2. Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah faktor dan jumlah level faktor. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a (b^c) \quad (2.4)$$

dengan:

L= rancangan bujur sangkar latin

a = jumlah baris eksperimen

b = jumlah level

c = jumlah faktor/ parameter proses

Tabel 2.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

2 level	3 level	4 level	5 level	Mixed level
L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> )	L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )	L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> )	L <sub>25</sub> (5 <sup>6</sup> )	L <sub>18</sub> (2 <sup>1</sup> × 3 <sup>7</sup> )
L <sub>8</sub> (2 <sup>7</sup> )	L <sub>27</sub> (3 <sup>13</sup> )	L <sub>64</sub> (4 <sup>21</sup> )	-	L <sub>32</sub> (2 <sup>1</sup> × 4 <sup>9</sup> )
L <sub>12</sub> (2 <sup>11</sup> )	L <sub>81</sub> (3 <sup>40</sup> )	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>11</sup> × 3 <sup>12</sup> )
L <sub>16</sub> (2 <sup>15</sup> )	-	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>3</sup> × 3 <sup>13</sup> )
L <sub>32</sub> (2 <sup>31</sup> )	-	-	-	L <sub>54</sub> (2 <sup>1</sup> × 3 <sup>25</sup> )
L <sub>64</sub> (2 <sup>63</sup> )	-	-	-	L <sub>50</sub> (2 <sup>1</sup> × 5 <sup>11</sup> )

## 2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari dua hal, yaitu penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen (Soejanto, 2009).

### a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

### b. Randomisasi

Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Pengaruh itu dapat diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama. Selain itu,



randomisasi juga bertujuan mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

### 3. Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengumpulan dan pengolahan data dilakukan. Tahap ini meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu tampilan tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Selain itu, perhitungan dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil eksperimen.

#### a. Analisis Variansi

Analisis variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik (Soejanto, 2009). Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variansi atas bagian-bagian yang diteliti. Pada tahap ini, akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variasi sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi faktor. Dengan demikian akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis variansi pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS), dan  $F_{hitung}$  seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tabel Analisis Variansi

Sumber variasi	Db	SS	MS	$F_{hitung}$
Faktor A	$v_A$	$SS_A$	$MS_A$	$F_A$
Faktor B	$v_B$	$SS_B$	$MS_B$	$F_B$
Error	$v_{error}$	$SS_{error}$	$MS_{error}$	
Total	$v_T$	$SST$		

Dengan:

$$\begin{aligned} v_T &= \text{Derajat bebas total.} \\ &= N-1 \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} v_A &= \text{Derajat bebas faktor A.} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} v_B &= \text{Derajat bebas faktor B.} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} v_{\text{error}} &= \text{Derajat bebas error.} \\ &= v_T - v_A - v_B - v_{AB} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Jumlah keseluruhan.} \\ &= \sum_{i=1}^N y_i \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{Faktor koreksi.} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{Jumlah kuadrat total.} \\ &= \sum_{i=1}^N Y_i - CF \\ &= \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{y})^2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} SS_A &= \text{Jumlah kuadrat faktor A.} \\ &= \left[ \sum_{i=1}^{k_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} SS_B &= \text{Jumlah kuadrat faktor B.} \\ &= \left[ \sum_{i=1}^{k_B} \left( \frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - CF \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} SS_E &= \text{Jumlah kuadrat error.} \\ &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} MS_A &= \text{Kuadrat tengah faktor A.} \\ &= \frac{SS_A}{v_A} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$MS_B = \text{Kuadrat tengah faktor B.}$$

$$= \frac{SS_B}{v_B} \quad (2.16)$$

$$MS_E = \text{Kuadrat tengah error.}$$

$$= \frac{SS_E}{v_E} \quad (2.17)$$

Dimana :

$k_A$  = Jumlah level faktor A

$k_B$  = Jumlah level faktor B

$N$  = Jumlah total percobaan

$n_{Ai}$  = Jumlah total pengamatan faktor A

$n_{Bj}$  = Jumlah total pengamatan faktor B

#### b. Uji Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  (Montgomery, 2009). Dalam analisis regresi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (*independen*), mempunyai mean nol dan varians yang konstan  $\sigma^2$  (identik), serta berdistribusi normal atau  $\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$ . Oleh karena itu, dalam setiap pendugaan model harus dilakukan pemeriksaan asumsi tersebut apakah terpenuhi atau tidak.

##### 1. Pengujian independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (*independen*). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan plot ACF (*Auto Correlation Function*). Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ .

##### 2. Pengujian identik

Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot  $e_i$  terhadap  $\hat{Y}_i$  (secara visual). Jika penyebaran datanya

acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

### 3. Pengujian distribusi normal

*Normal probability plot* pada perangkat komputasi statistik dapat digunakan untuk menyatakan residual suatu respon berdistribusi normal atau tidak. *Kolmogorov-Smirnov normality test* digunakan dalam pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang digunakan adalah:

$H_0$  : Residual berdistribusi normal.

$H_1$  : Residual tidak berdistribusi normal.

Gagal menolak  $H_0$  apabila  $P_{value} > \alpha$ .

### c. Rasio S/N

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu (Lin dan Lin, 2002):

#### 1) Semakin kecil semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.23)$$

#### 2) Tertuju pada nilai tertentu

Adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.24)$$

### 3) Semakin besar semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2.25)$$

## 2.5 Metode Taguchi-Grey-Fuzzy

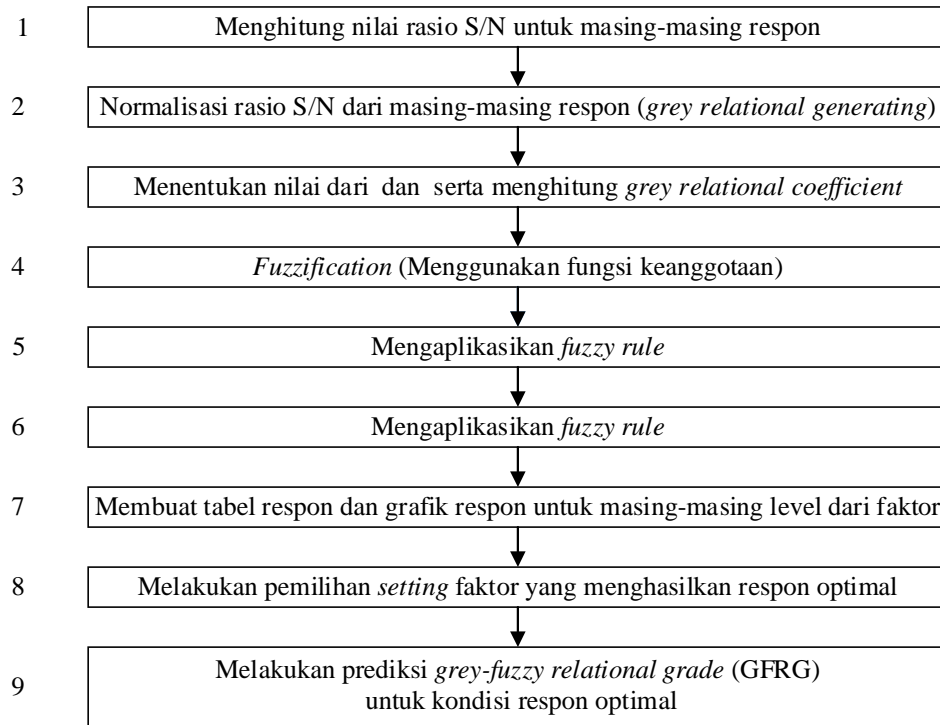
Dalam metode Taguchi, optimasi hanya dapat dilakukan untuk satu respon saja. Untuk melakukan optimasi beberapa respon secara serentak digunakan gabungan dari metode Taguchi, *grey relational analysis* (GRA) dan logika *fuzzy*.

Metode GRA diawali dengan teori *grey system* yang dibuat oleh Dr. Julong Deng pada tahun 1982, yang merupakan dasar dari suatu metode baru yang difokuskan pada studi tentang permasalahan yang memiliki data dan informasi yang minimum. Metode ini digunakan untuk membangun model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar respon dan parameter, serta sebagai dasar dalam melakukan prediksi maupun pengambilan keputusan. GRA merupakan salah satu metode yang dibangun berdasarkan teori *grey*. Pada dasarnya GRA digunakan dalam optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon.

Logika *fuzzy* pertama kali diformulasikan oleh Dr. Zadeh pada tahun 1965. Metode ini diformulasikan dalam upaya mencari nilai tengah antara nol dan satu. Dr. Zadeh melakukan modifikasi pada teori himpunan, dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang selalu bernilai kontinyu antara nol sampai satu. Himpunan ini disebut sebagai himpunan kabur (*fuzzy set*).

Logika *fuzzy* mempunyai kemampuan untuk memproses variabel respon yang bersifat kabur atau yang tidak dapat dideskripsikan secara pasti, misalnya tinggi, lambat, dan bising. Ketidakjelasan dalam menggambarkan suatu variabel respon dapat secara alami dimodelkan dengan menggunakan logika *fuzzy* (Dhavamani dan Alwarsamy, 2011). Dalam logika *fuzzy*, variabel respon yang bersifat kabur direpresentasikan sebagai sebuah himpunan yang anggotanya

adalah suatu nilai tegas (*crisp*) dan derajat keanggotaan (*membership function*). Langkah-langkah untuk proses optimasi dengan metode Taguchi-Grey-Fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Langkah-langkah optimasi Taguchi-Gery-Fuzzy

Rincian dari langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung rasio S/N untuk masing-masing respon.

Perhitungan rasio S/N dilakukan berdasarkan karakteristik dari masing-masing respon sesuai dengan persamaan 2.23 sampai dengan persamaan 2.25.

2. Normalisasi data untuk masing-masing respon

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan pada rasio S/N di mana rasio S/N memiliki karakteristik semakin besar semakin baik. Nilai S/N rasio dinormalkan menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Tabel 2.4 menunjukkan penempatan nilai respon untuk proses normalisasi.

Tabel 2.4 Penempatan Rasio S/N

	Rasio S/N 1	Rasio S/N 2		Rasio S/N k
Kombinasi 1	$X_1(1)$	$X_1(2)$	...	$X_1(k)$
Kombinasi 2	$X_2(1)$	$X_2(2)$	...	$X_2(k)$
...	...	...	...	...
Kombinasi i	$X_i(1)$	$X_i(2)$	...	$X_i(k)$

Cara yang digunakan untuk proses normalisasi sesuai dengan karakteristik respon yang meliputi semakin besar semakin baik (*larger the better*), semakin kecil semakin baik (*smaller the better*) dan tertuju pada nilai tertentu (*nominal the best*). Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “semakin besar semakin baik” (Lin, 2002) adalah:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.26)$$

Proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “semakin kecil semakin baik” menggunakan persamaan sebagai berikut (Lin, 2002):

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.27)$$

Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “tertuju pada nilai tertentu” adalah (Lin, 2002):

$$X_i^*(k) = 1 - \frac{|X_i(k) - X_{ob}(k)|}{\max_{\forall k} X_i(k) - X_{ob}(k)} \quad (2.28)$$

dengan:

$$\max_{\forall k} X_i(k) \quad = \text{nilai terbesar dari } X_i(k)$$

$$\min_{\forall k} X_i(k) \quad = \text{nilai terkecil dari } X_i(k)$$

$$X_{ob}(k) \quad = \text{nilai target dari } X_i(k)$$

3. Menentukan *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$

*Deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi yang besarnya satu dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan *deviation sequence* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Lin, 2002):

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)| \quad (2.29)$$

4. Menentukan *grey relational coefficient*  $\xi_i(k)$

*Grey relational coefficient* menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. *Grey relational coefficient* (GRC) akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut cocok dengan kondisi yang ideal. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah (Lin,2002):

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (2.30)$$

dengan:

$$\Delta_{min} = \min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\Delta_{max} = \max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\zeta = \text{distinguish coefficient.}$$

Pada umumnya nilai *distinguish coefficient* diatur berdasarkan kebutuhan dan besarnya antara 0 dan 1. Nilai *distinguish coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5. Nilai *grey relational coefficient* yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut.

5. Tahap *fuzzification*

*Fuzzification* merupakan proses pengubahan nilai awal, yaitu *grey relation coefficient* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang digunakan untuk menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan). Interval nilai keanggotaan yang digunakan adalah antara 0 sampai 1. Pendekatan fungsi digunakan sebagai salah satu cara untuk mendapatkan

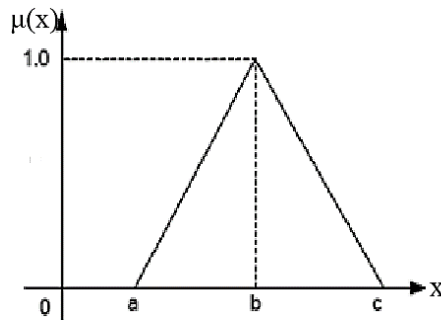


nilai keanggotaan. Ada dua fungsi keanggotaan yang umum digunakan dalam penelitian, yaitu fungsi keanggotaan kurva segitiga dan kurva trapesium.

Fungsi keanggotaan kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis linear, yaitu fungsi linier naik dan fungsi linier turun. Fungsi keanggotaan kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (2.31)$$

Fungsi keanggotaan kurva segitiga ditunjukkan pada Gambar 2.3.

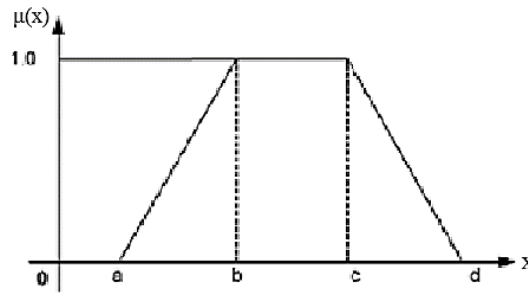


Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan kurva segitiga

Fungsi keanggotaan kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan sama, yaitu bernilai satu. Fungsi keanggotaan kurva trapesium adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{c-d}; & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2.32)$$

Bentuk fungsi keanggotaan kurva trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Fungsi keanggotaan kurva trapesium

#### 6. Mengaplikasikan *fuzzy rules*

*Fuzzy rules* merupakan aturan yang menjelaskan mengenai hubungan antara *output* dan nilai-nilai tertentu pada masing-masing variabel *input*. Selain itu, *fuzzy rules* juga merupakan alat penarik kesimpulan akan menghasilkan nilai *fuzzy* berdasarkan logika *fuzzy*. Biasanya *fuzzy rules* dibuat berdasarkan pengelompokkan dengan bentuk batasan aturan *if-then* (jika-maka), contohnya sebagai berikut:

Aturan ke-1: Jika  $x_1$  adalah  $A_1$ ,  $x_2$  adalah  $B_1$ , ..., dan  $x_k$  adalah  $Y_1$  maka  $y$  adalah  $Z_1$ ,

Aturan ke-2: Jika  $x_1$  adalah  $A_2$ ,  $x_2$  adalah  $B_2$ , ..., dan  $x_k$  adalah  $Y_2$  maka  $y$  adalah  $Z_2$ ,

Aturan -n : Jika  $x_1$  adalah  $A_n$ ,  $x_2$  adalah  $B_n$ , ..., dan  $x_k$  adalah  $Y_n$  maka  $y$  adalah  $Z_n$ ,

Derajat keragaman dari keanggotaan dari himpunan *fuzzy* akan dihitung berdasarkan nilai dari  $x_1$ ,  $x_2$ , hingga  $x_k$ , dan  $y$ , sedangkan  $A$ ,  $B$  hingga  $Y$  adalah himpunan *fuzzy* yang ditetapkan berdasarkan fungsi keanggotaan. Sebuah *output fuzzy* multi respon dihasilkan dengan menggunakan operasi *max-min inference* dan *fuzzy rule*. Apabila  $x_1$ ,  $x_2$ , hingga  $x_3$  adalah GRC, maka fungsi keanggotaan dari  $y$  yang merupakan *output* multi respon dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin dan Lin, 2002):

$$\mu Z_0(y) = ((\mu A_1(x_1) \wedge \mu B_1(x_2) \wedge \mu C_1(x_3) \wedge \mu Z_1(x_3))) \vee \dots \vee ((\mu A_k(x_1) \wedge \mu B_k(x_2) \wedge \mu C_k(x_3) \wedge \mu Z_n(x_3))) \quad (2.33)$$

dimana secara berturut-turut  $\wedge$  dan  $\vee$  adalah operasi minimum dan maksimum.

## 7. Defuzzification

*Defuzzification* merupakan pengubahan nilai *fuzzy* menjadi *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) dengan cara melakukan pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Metode yang paling sering digunakan pada proses *defuzzification* adalah metode *centroid*. Pada metode ini, *defuzzification* yang dilakukan dengan cara mengambil titik pusat ( $z^*$ ) daerah *fuzzy*. Metode ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin, 2002):

$$Z^* = \frac{\int_z^n z \mu(z) dz}{\int_z^n \mu(z) dz} \quad (2.34)$$

atau dapat dirumuskan (Kusumadewi dan Purnomo, 2010) sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (2.35)$$

dengan:

$z^*$  = nilai GFRG

$z_j$  = nilai domain ke- $j$

$\mu(z_j)$  = derajat keanggotaan

## 8. Menentukan kombinasi variabel proses untuk respon optimum

Semakin besar nilai GFRG, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi variabel-variabel tersebut. Penentuan kombinasi variabel terbaik diawali dengan membuat tabel respon dari GFRG seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Respon *grey fuzzy reasoning grade*

	Level 1	Level 2	Level j
<b>Variabel 1</b>	$Y_{11}$	-	$Y_{1j}$
<b>Variabel 2</b>	$Y_{21}$	-	$Y_{2j}$
-			
<b>Variabel i</b>	$Y_{i1}$	-	$Y_{ij}$
<b>Max-Min</b>	$Q_1$		$Q_j$

$Y_{ij}$  adalah rata-rata nilai GFRG yang dikelompokkan berdasarkan variabel  $i$  dan level  $j$ . Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari variabel yang menghasilkan respon yang optimal.

#### 9. Memprediksi nilai GFRG hasil optimasi

Nilai prediksi GFRG berdasarkan kombinasi level variabel proses untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dihitung menggunakan rumus (Lin dan Lin, 2002):

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \quad (2.36)$$

dengan:

$\gamma_m$  = nilai rata-rata dari keseluruhan GFRG

$\bar{\gamma}_i$  = rata-rata GFRG pada level optimal

$q$  = jumlah variabel proses yang mempengaruhi respon secara Signifikan

## 2.6 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan pada hasil eksperimen dengan menggunakan desain eksperimen Taguchi adalah sebagai berikut:

### 1. Persen kontribusi

Persen kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan/atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persen kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persen kontribusi adalah faktor dan *error*. Jika persen kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen, maka ada faktor yang berpengaruh terabaikan, sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi suatu faktor dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ross, 1996):

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \% \quad (2.37)$$

Dengan:

$$SS'_A = SS_A - \nu_A \cdot MS_E \quad (2.38)$$

$SS_A$  = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

$\nu_A$  = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

$MS_E$  = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

2. Interval keyakinan  $(1-\alpha)$  100 % untuk kondisi optimum (Ross, 1996):

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;\nu_E} \cdot MS_E}{n_{eff}}} \quad (2.39)$$

$$\hat{\mu}_{prediksi} - CI_1 \leq \hat{\mu}_{prediksi} \leq \hat{\mu}_{prediksi} + CI_1 \quad (2.40)$$

Dengan:

$\hat{\mu}_{prediksi}$  = dugaan rata-rata GFRG pada kombinasi optimal

$n_{eff}$  = banyaknya pengamatan efektif (2.41)

$$= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor-faktor untuk menduga rata-rata}}$$

## 2.7 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan langkah terakhir yang harus dilakukan pada penelitian tentang optimasi proses. Eksperimen ini dilaksanakan dengan melakukan percobaan yang menggunakan kombinasi level faktor-faktor hasil optimasi. Jumlah sampel untuk eksperimen konfirmasi harus lebih besar dari jumlah sampel pada saat eksperimen. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisis, serta untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil secara aktual (Ross, 1996).

Langkah-langkah dalam eksperimen konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Melakukan percobaan berdasarkan kombinasi untuk respon optimum.
- b. Membandingkan rata-rata hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.
- c.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- a. Rata-rata hasil eksperimen konfirmasi mendekati rata-rata hasil prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon eksperimen konfirmasi berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan  $(1-\alpha)$  100% dari rata-rata respon hasil optimum. Interval keyakinan eksperimen konfirmasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Ross, 1996):

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha; l; v_E} . MS_E \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2.42)$$

$$\hat{\mu}_{konfirmasi} - CI_2 \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} + CI_2 \quad (2.43)$$

Dengan:

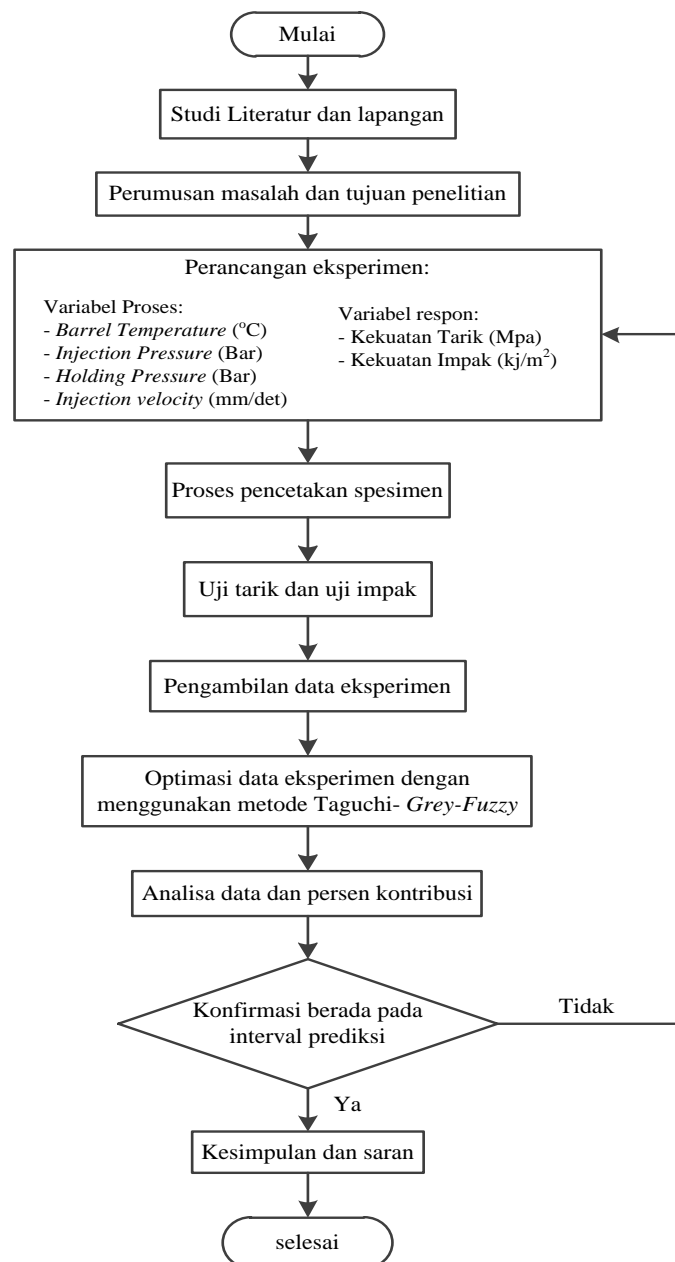
$r$  = Jumlah pengulangan dalam eksperimen konfirmasi

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tesis ini mengikuti diagram alir yang ditujukan oleh gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Parameter Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari hasil eksperimen. Parameter yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Parameter Proses

Parameter proses merupakan parameter yang dapat dikendalikan serta nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan penelitian maupun pertimbangan tertentu dalam penelitian yang mengarah pada tujuan dari penelitian. Parameter proses yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

- a) *Barrel temperature* (°C)
- b) *Injection pressure* (bar)
- c) *Holding pressure* (bar)
- d) *Injection velocity* (mm/det)

#### 3.2.2 Parameter Respon

Parameter respon merupakan parameter yang nilainya tidak dapat ditentukan diawal dan akan dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan selama penelitian. Nilai parameter respon ini dapat diketahui setelah melakukan eksperimen. Parameter respon yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Kekuatan Tarik (MPa)
- b) Kekuatan Impak (kJ/m<sup>2</sup>)

#### 3.2.3 Parameter Konstan

Parameter konstan merupakan parameter yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai parameter ini dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Parameter konstan pada penelitian ini adalah:

- a) *Hopper temperature*
- b) *Nozzle temperature*
- c) *Holding time*
- d) *Injection time*
- e) *Cooling time*



### 3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

Percobaan dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu yang dapat mempengaruhi nilai respon. Sebelum melakukan percobaan dilakukan persiapan-persiapan terhadap, mesin untuk pembuatan biokomposit, mesin cetakan injeksi, mesin pengujian dan bahan biokomposit.

#### 3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a) *Ball mill*

Mesin *ball mill* digunakan untuk menggiling atau menghancurkan serat sisal menjadi partikel yang lebih kecil hingga berbentuk serbuk, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin *Bond Ball Mill*

b) *Oven*

*Oven* yang digunakan untuk mengeringkan atau mengurangi kadar air pada serat sisal sebelum dimasukkan ke mesin *Bond Ball Mill* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin *Oven*

c) Mesin cetakan injeksi (*injection molding*)

Mesin *injection molding* yang digunakan untuk menginjeksi biokomposit menjadi produk sesuai dengan bentuk cetakan adalah HAITIAN-MA900/260e seperti dapat dilihat pada Gambar 3.4. Daya tampung material mesin tersebut adalah 25 kg, dengan tekanan maksimal sebesar 218 MPa. Spesifikasi mesin *injection molding* berdasarkan dari katalog mesin HAITIAN MARS series seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. Mesin cetak sistem injeksi ini berada di *workshop* proses manufaktur Teknik Mesin FTI-ITS.



Gambar 3.4 Mesin *Injection Molding* HAITIAN-MA900/260e

		MA900 II /260e		
INJECTION UNIT		A	B	C
Screw diameter	mm	32	36	40
Screw L /D ratio	L/D	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	cm <sup>3</sup>	121	153	188
Injection weight (PS)	g	110	139	171
Injection rate (PS)	g/s	77	98	121
Injection pressure	MPa	218	173	140
Plasticizing rate (PS)	g/s	10.1	13.3	16.1
Screw speed	rpm	0-230		
CLAMPING UNIT				
Clamp tonnage	kN	900		
Toggle stroke	mm	320		
Space between tie bars	mm	360×360		
Max. mold height	mm	380		
Min. mold height	mm	150		
Ejector stroke	mm	100		
Ejector force	kN	33		
OTHERS				
Max. pump pressure	MPa	16		
Pump motor power	kW	11		
Heater power	kW	6.3		
Machine dimension (l x w x h)	m	4.4×1.13×1.91		
Machine weight	t	3.5		
Hopper capacity	kg	25		
Oil tank capacity	l	190		

Gambar 3.5 Spesifikasi Mesin *Injection Molding* HAITIAN- MA tipe 900/260 e

d) Mesin uji tarik

Mesin uji tarik yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin uji tarik merk AUTOGRAPH AG-10TE, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6. Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan tarik spesimen.



Gambar 3.6 Mesin Uji Tarik AUTOGRAPH AG-10TE

e) Mesin uji impact

Mesin uji impact digunakan dalam penelitian ini mesin *mini impact tester* jenis *charpy* yang memiliki spesifikasi berat pendulum 750 gram dengan panjang lengan 0,3362 m seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7. Alat ini digunakan untuk mengukur kekuatan bahan terhadap beban kejut. Pada pengujian impact ini, jumlah energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut.



Gambar 3.7 Mesin *Mini Impact Tester* jenis *charpy*

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk serat sisal, *polypropylene* dan *maleic anhydride polypropylene* yang akan dicampur hingga berbentuk butiran/pelet.

#### a) Serbuk Serat Sisal

Serbuk Serat sisal merupakan bahan yang berfungsi sebagai *filler* pada *polymer matrix composite* (PMC).

#### b) *Polypropylene* (PP)

*Polypropylene* berfungsi sebagai matrix pada *polymer matrix composite* (PMC). PP yang digunakan pada penelitian ini dalam bentuk pelet yang memiliki densitas sebesar 0,9857 g/ml.

#### c) *Maleic anhydride polypropylene* (MAPP)

MAPP adalah material coupling agent yang berfungsi sebagai pengikat antara filler dan matriks pada ikatan PMC. MAPP adalah gabungan dari *maleic anhydride* yang di-*grafting* terhadap PP dengan ikatan kovalen yang memiliki densitas sebesar 0,9879 g/ml.

## 3.4 Rancangan Percobaan

### 3.4.1 Pengaturan Parameter Proses pada Mesin Cetak Sistem Injeksi

Pengaturan parameter proses pada mesin cetak sistem injeksi dirujuk dari penelitian-penelitian sebelumnya. Penentuan pengaturan parameter proses yang digunakan pada eksperimen ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter proses dan pengaturan level

No.	Faktor parameter proses	Level 1	Level 2	Level 3
1	<i>Barrel temperature</i> (°C)	210	215	220
2	<i>Injection pressure</i> (bar)	50	55	60
3	<i>Holding pressure</i> (bar)	35	40	45
4	<i>Injection velocity</i> (mm/det)	55	65	75

Parameter konstan yang dipertahankan dalam penelitian ini adalah:

- a) *Hopper temperature* : 190 °C
- b) *Nozzle temperature* : 173 °C
- c) *Holding time* : 1,5 detik
- d) *Injection time* : 2,4 detik
- e) *Cooling time* : 25,20 detik

### 3.4.2 Pemilihan matrik ortogonal

#### 3.4.2.1 Menentukan Derajat Kebebasan

Berdasarkan banyaknya parameter proses dan jumlah level yang telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan total derajat kebebasan ( $V_{fl}$ ) dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Derajat kebebasan parameter proses dan level

No	Faktor parameter proses	Jumlah Level (k)	( $V_{fl}$ )= (k-1)
1	<i>Barrel temperature</i> (°C)	3	2
2	<i>Injection pressure</i> (bar)	3	2
3	<i>Holding pressure</i> (bar)	3	2
4	<i>Injection velocity</i> (mm/det)	3	2
Total derajat kebebasan ( $V_{fl}$ )			8

#### 3.4.2.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan lebih besar dari pada total derajat kebebasan parameter proses/faktor penelitian. Berdasarkan jumlah masing-masing faktor yang terdiri dari 3 level,

maka rancangan matriks orthogonal yang dipilih adalah  $L_{27} (3^{13})$ . Matriks orthogonal  $L_{27} (3^{13})$  terdiri dari 27 rancangan percobaan dan 13 kolom faktor, namun pada penelitian ini hanya 4 kolom yang digunakan sesuai jumlah faktor yang diteliti yaitu kolom ke- 9, 10, 12 dan 13 sesuai rekomendasi pada tabel yang disarankan oleh Philip J. Ross, (2008). Oleh karena itu, matriks orthogonal yang dirancang pada penelitian ini sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Berdasarkan Matriks Ortogonal  $L_{27} (3^4)$

No. urut Eksperimen	Kombinasi parameter ke-	Parameter Proses			
		<i>Barrel temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (bar)	<i>Holding pressure</i> (bar)	<i>Injection velocity</i> (mm/det)
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
4	4	2	2	3	3
5	5	3	3	1	1
6	6	1	1	2	2
7	7	3	3	2	2
8	8	1	1	3	3
9	9	2	2	1	1
10	10	2	3	2	3
11	11	3	1	3	1
12	12	1	2	1	2
13	13	3	1	1	2
14	14	1	2	2	3
15	15	2	3	3	1
16	16	1	2	3	1
17	17	2	3	1	2
18	18	3	1	2	3
19	19	3	2	3	2
20	20	1	3	1	3
21	21	2	1	2	1
22	22	1	3	2	1
23	23	2	1	3	2
24	24	3	2	1	3
25	25	2	1	1	3
26	26	3	2	2	1
27	27	1	3	3	2

Pengambilan data eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi parameter mengacu pada rancangan eksperimen yang sesuai dengan matriks ortogonal pada Tabel 3.3. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* statistik. Masing-masing eksperimen dilakukan dengan replikasi sebanyak dua kali untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) proses cetakan injeksi berlangsung. Bila data hasil eksperimen dikumpulkan sesuai dengan kombinasi seting variabel proses yang sejenis, maka tampilan data yang akan diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Data Respon Eksperimen

Kombinasi parameter ke-	Respon					
	Kekuatan tarik (MPa)			Kekuatan impak (kJ/m <sup>2</sup> )		
1	$y_{111}$	$y_{112}$	$y_{113}$	$y_{121}$	$y_{122}$	$y_{123}$
2	$y_{211}$	$y_{212}$	$y_{213}$	$y_{221}$	$y_{222}$	$y_{223}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
I	$Y_{ijk}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ijk}$

$Y_{ijk}$  = data respon untuk kombinasi kombinasi variable proses ke-i, respon ke-j dan replikasi ke-k. Nilai  $i = 1, 2, \dots, 27$ ;  $j = 1, 2$ ;  $k = 1, 2, 3$

### 3.4.3 Proses Pembuatan Biokomposit

Proses pembuatan pelet biokomposit ini melalui beberapa tahapan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

#### a) Proses penghalusan serat sisal

Proses penghalusan serat sisal dilakukan dengan menggunakan mesin *ball mill*, selama 2 jam. Hal ini bertujuan untuk menghaluskan serat sisal menjadi bentuk butiran partikel kecil atau serbuk. Selanjutnya serbuk serat sisal disaring dengan menggunakan ayakan hingga diperoleh ukuran 50 Mesh (0,297 mm).

#### b) Proses pengeringan

Serbuk serat sisal, dikeringkan menggunakan *oven* pada temperatur 80 °C selama 12 jam, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.8. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang dikandung oleh serbuk serat sisal agar tidak mempengaruhi ikatan antar muka pada material campuran lainnya.



Gambar 3.8 Proses Pengeringan Menggunakan *Oven*

#### c) Proses Pencampuran

Proses pencampuran serbuk serat sisal, *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP) menggunakan mesin cetak sistem injeksi menjadi bentuk pelet. Komposisi material yang digunakan adalah 10 wt% serbuk serat sisal, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP.

#### 3.4.4 Proses Pencetakan Spesimen

Pelet material biokomposit dicetak untuk menjadi spesimen uji dengan menggunakan mesin cetak sistem injeksi. Dengan mengatur parameter proses injeksi sesuai rancangan eksperimen yang ditampilkan pada tabel 3.3 dan dilakukan sebanyak 3 kali proses. Spesimen yang diambil pada masing-masing rancangan eksperimen sebanyak 27 spesimen uji tarik dan 27 spesimen uji impak. Total spesimen yang diperoleh dari eksperimen tersebut sebanyak 81 spesimen uji tarik dan 81 spesimen uji impak.

#### 3.4.5 Pengujian Spesimen

##### a) Pengujian tarik

Mesin uji tarik yang digunakan untuk uji tarik spesimen adalah mesin AUTOGRAPH AG-10TE seperti pada gambar 3.6. mesin tersebut berada di laboratorium Farmasi UNAIR. Pengujian spesimen dilakukan menggunakan standar uji tarik ASTM D 638-03 tipe V dengan tebal spesimen  $3,2 \pm 0,4$ . Dalam pengujian ini spesimen diberi beban gaya tarik searah sumbu secara terus menerus hingga putus, serta secara bersamaan juga dilakukan pengamatan terhadap perubahan panjang yang dialami oleh spesimen.



b) Pengujian impact

Pengujian impact dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D256-04. Mesin uji impact yang digunakan untuk uji impact spesimen adalah mesin *mini impact tester* jenis *charpy* dengan kapasitas 0,5-22 J seperti yang ditampilkan pada gambar 3.7. Pengujian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi patahan material yang sulit dilakukan pada uji tarik, khususnya material yang memiliki transisi deformasi yang sangat kecil. Kegetasan atau keuletan spesimen terhadap pembebanan tiba-tiba atau beban tumbukan diukur dari besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen.

### 3.5 Pengolahan Data

Metode Taguchi optimasi hanya dapat dilakukan untuk satu respon saja. Pada penelitian ini respon yang digunakan adalah hasil uji tarik dan uji impact, sehingga dikombinasikan dengan metode logika fuzzy untuk menggabungkan 2 respon. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Perhitungan rasio S/N untuk tiap respon

Karakteristik respon rasio S/N yang digunakan pada penelitian ini adalah semakin besar semakin baik (*larger is better*), dengan menggunakan persamaan 2.25. Rencana data hasil rasio S/N seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.5.

2) Perhitungan normalisasi rasio S/N

Normalisasi dilakukan untuk mentransformasi nilai rasio S/N menjadi nilai yang besarnya antara 0 sampai 1. Proses normalisasi dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon rasio S/N. Untuk normalisasi respon dengan karakteristik semakin besar semakin baik (*larger is better*) dapat digunakan persamaan 2.26. Data dari normalisasi rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impact seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Nilai Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi parameter ke-	Rasio S/N		Normalisasi Rasio S/N	
	Kekuatan tarik	Kekuatan dampak	Kekuatan tarik	Kekuatan dampak
1	$x_{11}$	$x_{12}$	$y_{11}$	$y_{12}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	$y_{21}$	$y_{22}$
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
27	$x_{27\ 1}$	$x_{27\ 2}$	$y_{27\ 1}$	$y_{27\ 2}$

Keterangan:

$x_{ij}$  adalah rasio S/N untuk kombinasi parameter ke-i pada respon ke-j

$y_{ij}$  adalah normalisasi rasio S/N untuk kombinasi parameter ke-i pada respon ke-j

$i = 1, \dots, 27$  ;  $j = 1, 2$

3) Perhitungan nilai *deviation sequence*

Nilai *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi dari masing-masing respon.

4) Perhitungan *grey relational coefficient* (GRC)

GRC merupakan hubungan antara kondisi yang ideal dengan kondisi aktual respon dari nilai *deviation sequence* yang telah diperoleh. Nilai GRC dihitung berdasarkan nilai *deviation sequence* pada masing-masing responnya.

5) *Fuzzification*

*Fuzzification* merupakan proses pengubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Pada penelitian ini, parameter input dari sistem logika *fuzzy* diambil berdasarkan nilai GRC kekuatan tarik dan GRC kekuatan dampak, sedangkan *outputnya* adalah *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG). Fungsi keanggotaan dari masing-masing respon dikelompokkan secara *uniform* kedalam tiga kelas *fuzzy subsets*, yaitu *small* (S), *medium* (M) dan *large* (L).

6) Penentuan *fuzzy rules*

Dasar aturan *fuzzy* adalah sekelompok aturan dengan menggunakan pengontrolan jika-maka (*if-then control*) yang menyatakan hubungan antara parameter *input* dan parameter *output*.

7) *Defuzzification*

Berdasarkan komposisi *fuzzy rules* yang telah ditetapkan untuk menghasilkan output GFRG. Maka dilakukan *defuzzification*, yaitu suatu proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke dalam himpunan tegas. Hasil proses *defuzzification* berupa nilai GFRG tersebut merupakan gabungan dari respon kekuatan tarik dan impak secara serentak.

8) Menghitung hasil optimasi

Untuk memperoleh hasil optimasi, maka dilakukan penghitungan rata-rata dari nilai GFRG pada masing-masing level faktor. Dengan demikian dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum.

9) Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui parameter proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GFRG dengan menggunakan persamaan 2.35. Untuk hasil perhitungan dapat ditampilkan seperti Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

<i>Source</i>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<i>Contribution (%)</i>
<i>Barrel temperature</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Injection pressure</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Holding pressure</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Injection velocity</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Error</i>	....	....	....			....
<i>Total</i>	....					100%

Untuk mengetahui parameter proses berpengaruh terhadap respon GFRG, dapat dibandingkan dari nilai *p-value*, sedangkan seberapa besar pengaruhnya dapat dibandingkan dari persen kontribusi.

10) Prediksi Respon Optimum

Untuk menghitung interval keyakinan pada kondisi optimum dapat diprediksi dari banyaknya pengamatan dan nilai rata-rata GFRG dengan menggunakan

persamaan 2.36. Adapun interval keyakinan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 2.39.

#### 11) Eksperimen Konfirmasi

Agar hasil percobaan yang telah dilakukan dapat dipercaya/validitas, maka perlu dilakukan percobaan konfirmasi dengan menggunakan parameter yang optimum. Percobaan konfirmasi akan dilakukan sebanyak lima kali, selanjutnya dilakukan perbandingan antara nilai rata-rata GFRG hasil percobaan konfirmasi dengan interval keyakinan rata-rata GFRG prediksi.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini material biokomposit yang berbahan 10 wt% serbuk serat sisal, 85 wt% *polypropylene* (PP) dan 5 wt% *maleic anhydride polypropylene* (MAPP), dicampur dengan mesin injeksi. Dari proses tersebut menghasilkan pelet biokomposit berdiameter  $\pm 3$  mm dengan panjang  $\pm 5$  mm seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1. Selanjutnya pelet tersebut dicetak menjadi spesimen uji tarik dan impak dengan dengan mengoptimasikan parameter proses cetakan injeksi (*injection molding*).

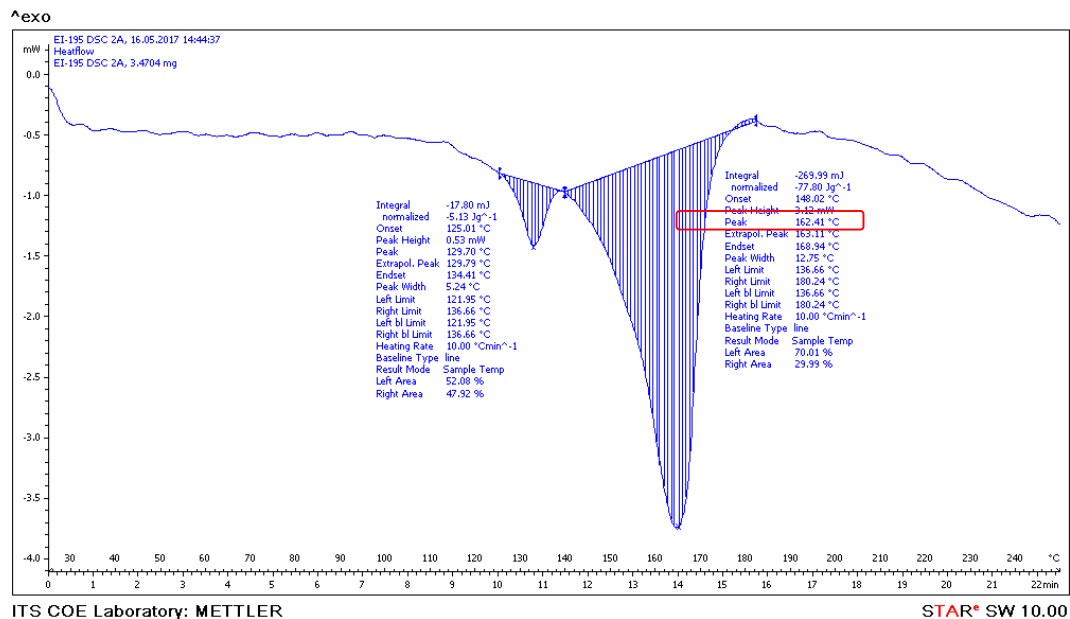


Gambar 4.1 Pelet Biokomposit

##### 4.1.1 Hasil Pengukuran DSC

Hasil pengukuran *differential scanning calorimetry* (DSC) digunakan sebagai rekomendasi untuk menentukan temperatur pada proses cetakan injeksi. Berdasarkan kurva DSC seperti yang ditampilkan pada gambar 4.2, bahwa biokomposit mulai meleleh dan berubah dari fase padat menjadi cair pada

temperatur *melting point* 162,41 °C, sehingga pengaturan temperatur untuk proses cetakan injeksi harus lebih dari 162,41 °C.



Gambar 4.2 Kurva *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

#### 4.1.2 Parameter Proses Cetakan Sistem Injeksi

##### 1 Parameter konstan

Parameter konstan merupakan parameter yang tidak divariasikan dalam penelitian. Nilai parameter ini dijaga konstan selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi parameter respon. Parameter konstan dalam penelitian penelitian ini adalah:

- Hopper* merupakan bagian dari *injection unit* mesin cetak sistem injeksi dimana ini tempat awal meletakkan bahan baku, yang selanjutnya akan diteruskan ke bagian pemanas yaitu *barrel*. Nilai dari *hopper temperature* ini adalah 190 °C.
- Nozzle* juga merupakan bagian dari *injection unit* mesin cetak sistem injeksi, tetapi posisi dari *nozzle* ada dibagian ujung *injection unit* atau setelah *barrel*, suhu pada *nozzle* ini perlu dijaga agar bahan yang sudah dipanaskan tidak mengalami penurunan. Suhu pada *nozzle* ini adalah 173 °C.
- Holding time* adalah waktu tekanan yang dibutuhkan untuk menahan cetakan setelah proses injeksi. Waktu ini dibutuhkan agar material

mampat terlebih dahulu setelah material masuk *cavity*. Dalam penelitian ini *holding time* yang digunakan adalah 15 detik.

- d) *Injection time* adalah waktu yang digunakan untuk mengisi rongga *cavity* sampai terisi penuh oleh lelehan plastik. *Injection time* dalam penelitian ini adalah 2,4 detik.
- e) *Cooling time* adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk bahan plastik untuk mendinginkan sampai titik di mana material bahan plastik tersebut telah dipadatkan dan bagian plastik menjadi cukup kaku. Lamanya waktu pendinginan dihitung setelah *holding pressure* sampai waktu membuka. *Cooling time* pada penelitian ini adalah 25,20 detik.

## 2 Parameter Proses

- a) *Barrel temperature* 210 °C, 215 °C dan 220 °C.
- b) *Injection pressure* 50 bar, 55 bar, dan 60 bar.
- c) *Holding pressure* 35 bar, 40 bar dan 45 bar.
- d) *Injection velocity* 55 mm/det, 65 mm/det dan 75 mm/det.

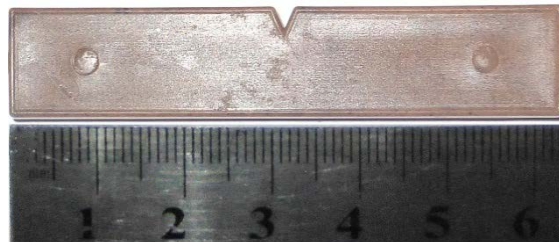
## 4.2 Pengolahan Data Penelitian

Hasil percobaan diperoleh berdasarkan rancangan percobaan Taghuchi berupa matriks ortogonal  $L_{27} (3^4)$ , yaitu dengan mengkombinasikan parameter-parameter proses pada mesin cetak sistem injeksi yang diduga memiliki pengaruh terhadap respon yang diteliti. Parameter proses tersebut adalah *barrel temperature* (°C), *injection pressure* (bar), *holding pressure* (bar), *injection velocity* (mm/det). Respon yang diteliti adalah kekuatan tarik dan kekuatan impak.

- a. Eksperimen dari matrik ortogonal  $L_{27} (3^4)$  dilakukan secara acak dengan replikasi sebanyak tiga kali, untuk mengatasi faktor gangguan yang terjadi selama proses injeksi, pengujian tarik dan pengujian impak berlangsung. Untuk setiap replikasi dilakukan pengambilan data kekuatan tarik dan kekuatan impak. Hasil dari proses injeksi adalah Pencetakan material biokomposit dengan menggunakan mesin setak sistem injeksi. Hasil dari proses injeksi merupakan spesimen uji tarik seperti pada gambar 4.3 dan spesimen uji impak pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Spesimen Pengujian Tarik ASTM D 638-03 tipe V



Gambar 4.4 Spesimen Pengujian Impak ASTM D256-04

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan alat uji tarik AUTOGRAPH AG-10TE, dan pengujian kekuatan impak menggunakan alat uji impak *Mini Impact Tester tipe Charpy*. Data pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impak sesuai dengan kombinasi pengaturan parameter seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Kekuatan tarik dan kekuatan impak yang diinginkan semaksimal mungkin.

Tabel 4.1 Data hasil percobaan

Percobaan Kombinasi parameter ke-	Respon					
	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
1	24,368	24,152	24,168	4,48	3,62	3,62
2	25,360	20,832	23,072	3,62	2,74	2,74
3	22,896	23,584	23,248	4,48	2,74	2,74
4	24,856	23,360	23,744	3,62	3,62	3,62
5	22,544	22,624	22,592	2,74	2,74	2,74
6	24,256	24,768	23,984	3,62	3,62	3,62
7	21,544	24,704	23,104	2,74	3,62	2,74
8	24,464	24,384	24,304	3,62	3,62	4,48
9	22,352	23,856	24,936	4,48	4,48	4,48



Tabel 4.1 Data hasil percobaan (Lanjutan)

Percobaan Kombinasi parameter ke-	Respon					
	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
10	22,96	23,392	23,088	2,74	2,74	3,62
11	23,088	22,752	22,896	1,84	3,62	3,62
12	23,976	24,224	24,304	4,48	3,62	3,62
13	23,816	23,440	23,616	4,48	4,48	2,74
14	24,464	24,128	24,304	3,62	4,48	4,48
15	22,728	22,016	22,384	1,84	1,84	1,84
16	24,464	24,240	24,304	3,62	3,62	4,48
17	23,048	23,008	23,016	3,62	2,74	2,74
18	24,432	23,704	24,824	4,48	4,48	3,62
19	22,624	22,120	22,384	2,74	2,74	2,74
20	24,464	24,256	24,304	3,62	3,62	4,48
21	24,824	24,000	24,192	4,48	3,62	3,62
22	24,464	24,464	24,304	3,62	3,62	2,74
23	22,672	21,960	22,496	1,84	1,84	1,84
24	24,024	24,592	24,400	4,48	3,62	3,62
25	22,536	23,704	23,016	3,62	3,62	3,62
26	24,704	23,664	24,144	4,48	5,33	3,62
27	22,624	22,120	22,384	2,74	2,74	2,74

Sumber: Hasil percobaan

#### 4.2.1 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Perhitungan masing-masing nilai rasio S/N dan normalisasi rasio S/N dari hasil pengujian tarik dan impak sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.2.

##### a) Rasio S/N

Metode Taguchi menggunakan pendekatan rasio S/N untuk meneliti faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Perhitungan nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Respon kekuatan tarik dan

kekuatan impak memiliki karakteristik semakin besar semakin baik (*larger is better*). Nilai rasio S/N dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25.

Contoh perhitungan rasio S/N gaya tekan dengan karakteristik kualitas respon semakin besar semakin baik pada kombinasi pertama adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log (\text{MSD}) \\ &= -10 \log \left( \frac{(1/y_1^2) + (1/y_2^2) + (1/y_n^2)}{n} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{(1/24,368^2) + (1/24,152^2) + (1/24,168^2)}{3} \right) \end{aligned}$$

$$S/N = 27,6866$$

Sehingga hasil perhitungan rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.2.

b) Normalisasi rasio S/N

Normalisasi dilakukan untuk merubah nilai rasio S/N menjadi nilai yang besarnya antara nol sampai satu. Proses normalisasi dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon rasio S/N. Karakteristik kualitas untuk rasio S/N adalah semakin besar semakin baik. Karakteristik kualitas ini berlaku untuk semua rasio S/N dari masing-masing respon. Perhitungan rasio S/N dilakukan menggunakan persamaan 2.26.

Contoh perhitungan normalisasi rasio S/N untuk respon gaya tekan pada kombinasi pertama adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_i^*(k) &= \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \\ &= \frac{27,6866 - 26,9932}{27,7516 - 26,9932} \\ x_i^*(k) &= 0,9145 \end{aligned}$$

Sehingga hasil perhitungan normalisasi rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi parameter ke-	Rasio S/N		Normalisasi Rasio S/N	
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak
1	27,6866	11,7081	0,9145	0,8296
2	27,1838	9,4220	0,2513	0,5338
3	27,3238	9,7713	0,4360	0,5790
4	27,5904	11,1742	0,7876	0,7605
5	27,0770	8,7550	0,1105	0,4475
6	27,7227	11,1742	0,9620	0,7605
7	27,2381	9,4220	0,3229	0,5338
8	27,7420	11,7081	0,9875	0,8296
9	27,4740	13,0256	0,6340	1,0000
10	27,2890	9,4220	0,3900	0,5338
11	27,2008	8,2585	0,2737	0,3832
12	27,6644	11,7081	0,8851	0,8296
13	27,4665	11,1005	0,6242	0,7509
14	27,7112	12,3171	0,9469	0,9083
15	26,9934	5,2964	0,0003	0,0000
16	27,7248	11,7081	0,9648	0,8296
17	27,2436	9,4220	0,3302	0,5338
18	27,7145	12,3171	0,9512	0,9083
19	26,9945	8,7550	0,0017	0,4475
20	27,7267	11,7081	0,9674	0,8296
21	27,7232	11,7081	0,9628	0,8296
22	27,7515	10,2103	1,0000	0,6358
23	26,9932	5,2964	0,0000	0,0000
24	27,7247	11,7081	0,9647	0,8296
25	27,2611	11,1742	0,3533	0,7605
26	27,6618	12,6939	0,8817	0,9571
27	26,9945	8,7550	0,0017	0,4475
Max	27,7515	13,0256	1,0000	1,0000
Min	26,9932	5,2964	0,0000	0,0000

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.2 Deviation Sequence dan Grey Relational Coefficient (GRC)

Nilai *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  diperoleh dari selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi masing-masing respon dengan menggunakan persamaan 2.29. Nilai *deviation sequence* untuk kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta_{0,i}(k) &= |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \\ &= 1 - 0,9145\end{aligned}$$

$$\Delta_{0,i}(k) = 0,0855$$

Hasil perhitungan *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  untuk kekuatan tarik dan impak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

*Grey relational coefficient* (GRC) merupakan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasikan menggunakan persamaa 2.30. Nilai GRC kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\xi_i(k) &= \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \\ &= \frac{0 + 0,5 (1)}{0,0855 + 0,5 (1)} \\ &= 0,8539\end{aligned}$$

Sehingga hasil perhitungan GRC untuk kekuatan tarik dan impak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data *Grey Relational Coefficient* (GRC)

Kombinasi parameter ke-	<i>Deviation sequence</i>		<i>Grey Relational Coefficient</i> (GRC)	
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak
1	0,0855	0,1704	0,8539	0,7458
2	0,7487	0,4662	0,4004	0,5175
3	0,5640	0,4210	0,4699	0,5429
4	0,2124	0,2395	0,7019	0,6761
5	0,8895	0,5525	0,3598	0,4750
6	0,0380	0,2395	0,9294	0,6761
7	0,6771	0,4662	0,4248	0,5175

Tabel 4.3 Data *Grey Relational Coefficient* (GRC) (Lanjutan)

Kombinasi parameter ke-	<i>Deviation sequence</i>		<i>Grey Relational Coefficient</i> (GRC)	
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak
8	0,0125	0,1704	0,9756	0,7458
9	0,3660	0,0000	0,5774	1,0000
10	0,6100	0,4662	0,4505	0,5175
11	0,7263	0,6168	0,4077	0,4477
12	0,1149	0,1704	0,8132	0,7458
13	0,3758	0,2491	0,5709	0,6675
14	0,0531	0,0917	0,9041	0,8451
15	0,9997	1,0000	0,3334	0,3333
16	0,0352	0,1704	0,9343	0,7458
17	0,6698	0,4662	0,4274	0,5175
18	0,0488	0,0917	0,9111	0,8451
19	0,9983	0,5525	0,3337	0,4750
20	0,0326	0,1704	0,9387	0,7458
21	0,0372	0,1704	0,9307	0,7458
22	0,0000	0,3642	1,0000	0,5785
23	1,0000	1,0000	0,3333	0,3333
24	0,0353	0,1704	0,9341	0,7458
25	0,6467	0,2395	0,4360	0,6761
26	0,1183	0,0429	0,8086	0,9210
27	0,9983	0,5525	0,3337	0,4750
Max	1	1		
Min	0	0		
Selisih	0,5	0,5		

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.3 Fuzzification

Parameter-parameter input dari sistem logika fuzzy pada penelitian ini nilai GRC dari masing-masing respon kekuatan tarik dan kekuatan impak. Nilai GRC dari masing-masing respon akan diubah kedalam *linguistic fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan dari masing-masing respon

dikelompokkan secara uniform kedalam tiga kelas *fuzzy* yaitu *Small* (S), *Medium* (M) dan *Large* (L). Parameter output dari sistem logika *fuzzy* pada penelitian ini adalah *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG). Pada parameter output fungsi keanggotaan GFRG dikelompokkan kedalam lima kelas *fuzzy* yaitu, *Very Small* (VS), *Small* (S), *Medium* (M), *Large* (L) dan *Very Large* (VL). Sebagaimana yang ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Rule*

		GRC Kekuatan Tarik		
		S	M	L
GRC Kekuatan Impak	S	VS	S	M
	M	S	M	L
	L	M	L	VL

#### 4.2.4 Pengelompokan *Fuzzy Rules*

Dasar aturan *fuzzy* adalah sekelompok aturan pengontrolan jika-maka (*if-then control*) yang menyatakan hubungan antara variabel *input* dan variabel *output*. Data perolehan dari *grey relational coefficient* (GRC) adalah input dan *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) adalah output, sehingga penentuan *fuzzy rules* dapat didefinisikan sebagai berikut:

Rule ke-1: Jika GRC kekuatan tarik adalah S dan GRC kekuatan impak adalah S, maka GFRG adalah VS.

Rule ke-2: Jika GRC kekuatan tarik adalah S dan GRC kekuatan impak adalah M, maka GFRG adalah S.

dst ..... sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengelompokkan *Fuzzy Rule*

No. Rules	Parameter <i>Input</i> (GRC)		Parameter <i>Output</i> (GFRG)
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	
1	S	S	VS
2	S	M	S
3	S	L	M
4	M	S	S
5	M	M	M
6	M	L	L
7	L	S	M
8	L	M	L
9	L	L	VL

#### 4.2.5 Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)

GFRG merupakan hasil proses *fuzzyfication* dari beberapa parameter *input* GRC menjadi satu parameter *output*, sehingga nilai GFRG tersebut dijadikan sebagai nilai multi respon dari kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Nilai multi respon GFRG masing-masing kombinasi parameter faktor dan level dapat ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Multi Respon Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)

Kombinasi parameter ke-	GFRG	Kombinasi parameter ke-	GFRG	Kombinasi parameter ke-	GFRG
1	0,6898	10	0,4796	19	0,4085
2	0,4525	11	0,4406	20	0,7339
3	0,5080	12	0,6749	21	0,7288
4	0,6251	13	0,5955	22	0,7538
5	0,4198	14	0,7315	23	0,3904
6	0,7179	15	0,3904	24	0,7310
7	0,4651	16	0,7311	25	0,5521
8	0,7605	17	0,4665	26	0,7345
9	0,7537	18	0,7360	27	0,4085

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan GFRG kombinasi parameter faktor dan level, maka dapat diperoleh nilai rata-rata GFRG untuk masing-masing faktor dan level seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.7. Sebagai contoh untuk memperoleh nilai rata-rata GFRG *barrel temperature* pada level 1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\bar{\gamma}_i = \frac{0,6898 + 0,7179 + 0,7605 + 0,6749 + 0,7315 + 0,7311 + 0,7339 + 0,7538 + 0,4085}{9}$$

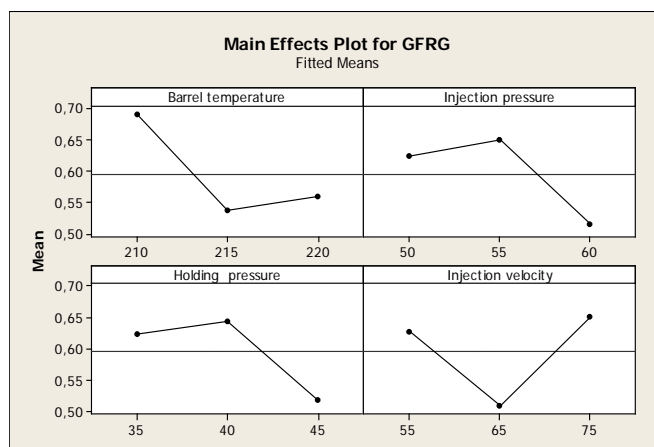
$$\bar{\gamma}_i = 0,6891$$

Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Multi Respon GFRG pada Masing-Masing Level Faktor

Level	Faktor/ parameter proses			
	<i>Barrel temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (bar)	<i>Holding pressure</i> (bar)	<i>Injection velocity</i> (mm/det)
1	0,6891	0,6235	0,6241	0,6269
2	0,5377	0,6492	0,6444	0,5089
3	0,5599	0,5140	0,5181	0,6509
Selisih	0,1514	0,1352	0,1263	0,1420
Rank	1	3	4	2
Rata-rata Total ( $\gamma_m$ )	0,5956			

Sumber: Hasil perhitungan

Dari nilai rata-rata GFRG multi respon, maka diperoleh level maksimum yang dapat mengoptimalkan kekuatan tarik dan kekuatan impak sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata GFRG Multi Respon Pada tiap level Faktor



Berdasarkan Gambar 4.5 yang menampilkan hubungan antara nilai GFRG terhadap kombinasi level faktor, maka diperoleh pemilihan kombinasi parameter level faktor yang optimum sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kombinasi Parameter Proses Respon Optimum

No	Faktor parameter proses	Level	Nilai
1	<i>Barrel temperature</i>	1	210 °C
2	<i>Injection pressure</i>	2	55 bar
3	<i>Holding pressure</i>	2	40 bar
4	<i>Injection velocity</i>	3	75 mm/det

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.6 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui parameter-parameter proses yang memiliki pengaruh secara signifikan dan besarnya kontribusi terhadap respon yang diteliti. Pada penelitian ini ANOVA dilakukan terhadap data GFRG yang mewakili semua respon secara serentak. Perhitungan ANOVA terdiri dari derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat/*sum of square* (SS), kuadrat tengah/*mean of square* (MS) dan  $F_{hitung}$ . Contoh perhitungan Analisis variansi (ANOVA) dan persen kontribusi pada *barrel temperature* berdasarkan nilai GFRG adalah sebagai berikut:

a) Jumlah kuadrat/*sum of square* (SS):

$$SS = n \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SS = 9 \times [(0,6891 - 0,5956)^2 + (0,5377 - 0,5956)^2 + (0,5599 - 0,5956)^2]$$

$$SS = 0,12035$$

b) Jumlah kuadrat tengah/*mean of square* (MS):

$$MS = \frac{SS}{DF}$$

$$MS = \frac{0,12035}{2} = 0,060176$$

c) Jumlah kuadrat sesungguhnya/*sum of square* (SS'):

$$SS' = SS - DF \cdot MS_E$$

$$SS' = 0,12035 - (2 \times 0,007086)$$

$$SS' = 0,106181$$

d) Nilai persen kontribusi :

$$\rho = \frac{SS'}{SS_T} \times 100 \%$$

$$\rho = \frac{0,106181}{0,5276} \times 100 \%$$

$$\rho = 20,13 \%$$

Hasil perhitungan analisis variansi dan persen kontribusi dari masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik dan dampak secara serentak dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

<i>Source</i>	DF	SS	MS	SS'	F	P	<i>Contri- bution</i>
<i>Barrel temperature</i>	2	0,12035	0,060176	0,106180602	8,63	0,002	20,13%
<i>Injection pressure</i>	2	0,09286	0,046430	0,078688196	6,66	0,007	14,92 %
<i>Holding pressure</i>	2	0,08280	0,041398	0,068623282	5,93	0,010	13,01 %
<i>Injection velocity</i>	2	0,10402	0,052012	0,089852842	7,46	0,004	17,03 %
<i>Error</i>	18	0,12754	0,007086	0,184228			34,92 %
Total	26	0,5276					100 %

Sumber: Hasil perhitungan

Untuk menduga pengaruh dari masing-masing parameter proses/faktor terhadap multi respon kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak, maka dinyatakan hipotesa sebagai berikut:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (Faktor tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak)

$H_1$ : Paling sedikit ada satu  $\mu$  yang berbeda (Faktor berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak)

Kriteria penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $p\text{-value} < \alpha$ , nilai  $\alpha = 0,05$

Berdasarkan analisis variansi yang ditampilkan pada tabel 4.9, maka dapat diketahui pengaruh dari masing-masing faktor sebagai berikut:

- Faktor *barrel temperature* memperoleh nilai  $p\text{-value}$  lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0,002. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan kekuatan

impak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *barrel temperature* terhadap total variasi respon lebih besar dari faktor lainnya yaitu sebesar 20,13 %.

- b) Faktor *injection pressure* memperoleh nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0,007. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *injection pressure* terhadap total variasi respon adalah sebesar 14,92 %.
- c) Faktor *holding pressure* memperoleh nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0,010. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *holding pressure* terhadap total variasi respon adalah sebesar 13,01 %.
- d) Faktor *injection velocity* memperoleh nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0,004. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan kekuatan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *injection velocity* terhadap total variasi respon adalah sebesar 17,03 %.

Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa semua faktor yang divariasikan pada percobaan ini berpengaruh signifikan terhadap total variasi respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Selain itu, kontribusi yang diberikan oleh keempat faktor tersebut mulai dari 13,01 % hingga 20,13 %, sedangkan kontribusi *error* sebesar 34,92 %. Hal ini mengindikasikan bahwa ada kontribusi dari beberapa faktor lain ataupun faktor *noise* yang tidak dapat diteliti.

#### 4.2.7 Pengujian Asumsi Residual

Pengujian asumsi residual dilakukan dengan uji kenormalan, uji independen dan uji identik untuk menduga kesesuaian model.

##### a) Uji Kenormalan

Pengujian asumsi residual normal  $(0, \sigma^2)$  dilakukan melalui uji Kolmogorov-Smirnov. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0$  : Residual berdistribusi normal

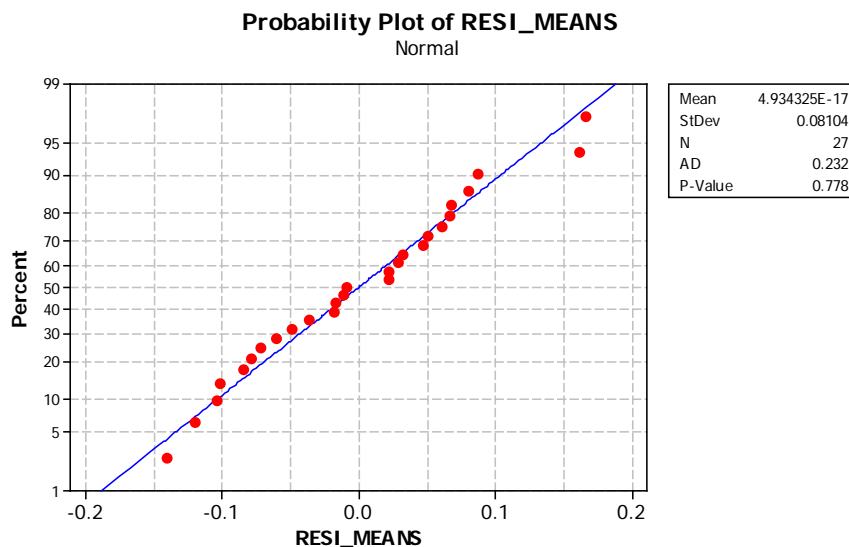
$H_1$  : Residual tidak berdistribusi normal

$H_0$  ditolak jika *p-value* lebih kecil dari pada  $\alpha = 0,05$ .

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dengan uji Kolmogorov-Smirnov diperoleh:

- $P\text{-value} > 0,778$  yang berarti lebih besar dari  $\alpha = 0,05$ . Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  gagal ditolak atau residual berdistribusi normal.
- *Mean* bernilai sebesar  $4,934325\text{E-}17$  yang berarti sangat kecil atau mendekati nol.
- Variansi residual adalah sebesar  $(0,232)^2 = 0,053$

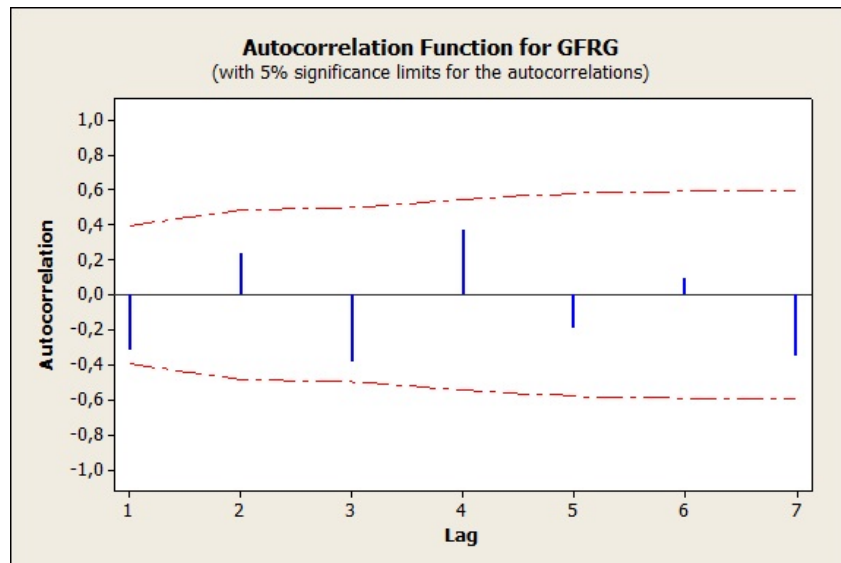
Dengan demikian asumsi residual berdistribusi normal dengan nilai *mean* mendekati nol (atau sama dengan nol) dan memiliki variasi tertentu (sebesar 0,053) telah terpenuhi.



Gambar 4.6 Grafik Uji Distribusi Normal

#### b) Uji Independen

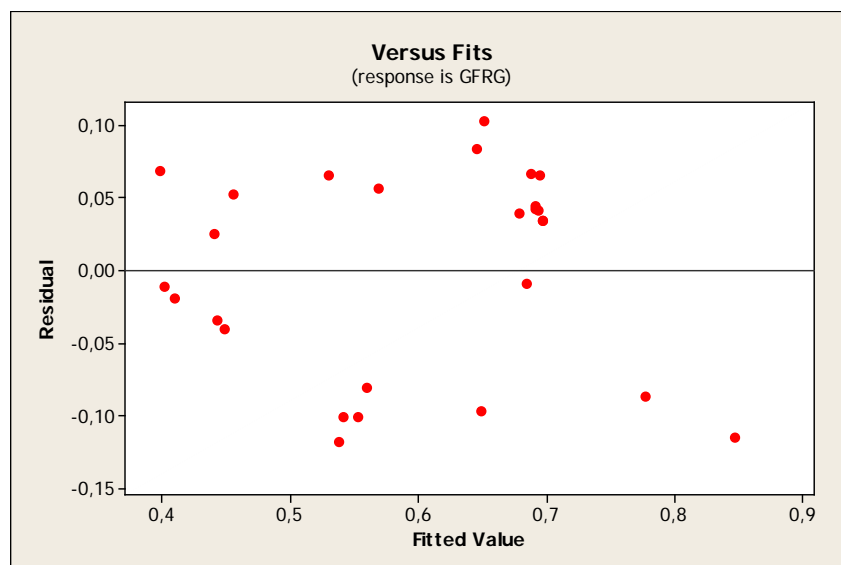
Pengujian independen dilakukan dengan menggunakan *Auto Correlation Function* (ACF). Berdasarkan grafik ACF yang ditampilkan pada gambar 4.7, bahwa residual bersifat independen. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada nilai yang keluar dari batas atas dan batas bawah interval ACF, sehingga membuktikan tidak ada korelasi antara residual.



Gambar 4.7 Grafik uji independen *Auto Correlation Function* (ACF)

### c) Uji Identik

Pengujian asumsi residual bersifat identik dilakukan dengan uji residual identik *versus fits* seperti yang ditampilkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Uji Identik *Versus Observation Fits*

Dari grafik uji identik *versus observation fits* yang ditampilkan pada pada gambar 4.8, bahwa residual tersebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu disekitar garis tengah (*mean*) yang bernilai 0,00. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi residual bersifat identik sudah terpenuhi.

#### 4.2.8 Prediksi Multi Respon Optimum

Prediksi dari nilai GFRG optimum dapat dihitung berdasarkan kombinasi nilai rata-rata GFRG pada masing-masing level dari parameter proses yang menghasilkan respon optimum. Sebagaimana yang telah ditampilkan pada tabel 4.7. Dengan menggunakan persamaan 2.15, dapat diperoleh nilai  $\hat{\gamma}$  GFRG sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{\gamma} \text{ GFRG} &= \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \\ &= 0,5956 + (0,6891 - 0,5956) + (0,6235 - 0,5956) + (0,6241 - 0,5956) + \\ &\quad (0,6269 - 0,5956) \\ &= 0,8469\end{aligned}$$

Adapun banyaknya pengamatan efektif ( $n_{\text{eff}}$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.41, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}n_{\text{eff}} &= \frac{\text{Total percobaan}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan parameter untuk menduga rata - rata}} \\ n_{\text{eff}} &= \frac{27 \times 3}{1 + 8} \\ n_{\text{eff}} &= 9\end{aligned}$$

Perhitungan interval keyakinan rata-rata GFRG prediksi hasil optimasi menggunakan persamaan 2.39 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}CI_p &= \sqrt{\frac{F_{(\alpha;1;df)} MS_E}{n_{\text{eff}}}} \\ CI_p &= \sqrt{\frac{F_{(0,05;1;18)} 0,007086}{9}} \\ CI_p &= \sqrt{\frac{4,41 \times 0,007086}{9}} \\ CI_p &= \pm 0,0589\end{aligned}$$

Dengan demikian interval keyakinan nilai rata-rata GFRG prediksi yang menghasilkan respon optimum dengan tingkat keyakinan 95% adalah  $0,8469 \pm 0,0589$  ( $0,7880 \leq \hat{\gamma} \text{ GFRG}_p \leq 0,9058$ ).

### 4.3 Percobaan Konfirmasi

Untuk memvalidasi hasil percobaan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan perbandingan antara nilai rata-rata GFRG hasil percobaan konfirmasi dengan interval keyakinan rata-rata GFRG prediksi. Percobaan konfirmasi dilakukan dengan pengaturan menggunakan kombinasi optimum hasil optimasi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8. Pada penelitian ini percobaan konfirmasi dilakukan dengan replikasi sebanyak 5 kali sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Respon Percobaan Konfirmasi

Kombinasi parameter optimum	Replikasi ke-	Respon	
		Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )
<i>Barrel temperature</i> 210°C <i>Injection pressure</i> 55 Bar <i>Holding pressure</i> 40 Bar <i>Injection velocity</i> 75 mm/det	1	24,30	4,48
	2	24,32	4,48
	3	24,34	4,48
	4	24,35	4,48
	5	24,80	3,62

Sumber: Hasil percobaan konfirmasi

Langkah berikutnya yaitu perhitungan rasio S/N terhadap nilai-nilai respon yang diperoleh dari percobaan konfirmasi. Setelah menghitung rasio S/N kemudian dilakukan perhitungan *deviation squence* dan GRC. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan GFRG. Hasil perhitungan rasio S/N dan perhitungan GFRG pada masing-masing respon percobaan konfirmasi ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Data Percobaan Konfirmasi

	Rasio S/N	Normalisasi Rasio S/N	<i>Deviation sequence</i>	<i>Grey Relational Coefficient</i>	GFRG
Kekuatan tarik	27,7548	1,0045	0,0045	0,9912	<b>0,8379</b>
Kekuatan impak	12,5868	0,9432	0,0568	0,8980	

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.11, diperoleh nilai GFRG konfirmasi ( $\hat{y}$  GFRG<sub>k</sub>) sebesar 0,8379. Hal ini menyatakan bahwa nilai rata-rata GFRG konfirmasi masih berada dalam rentang interval keyakinan GFRG prediksi yaitu  $0,7393 \leq \hat{y}$  GFRG<sub>k</sub>  $\leq 0,9365$ .

#### 4.4 Perbandingan antara Respon Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

Kombinasi awal merupakan pengaturan kombinasi parameter proses yang biasa digunakan dalam proses injeksi molding. Pada penelitian ini kombinasi awal diatur pada level tengah, yaitu pada level dua untuk variabel proses yang memiliki tiga level. Untuk parameter proses yang memiliki dua level kombinasi awal diatur pada level satu. Pada percobaan ini, masing-masing parameter proses terdiri dari 3 level, sehingga bagian level tengahnya adalah level dua. Berdasarkan rancangan eksperimen matriks ortogonal L<sub>27</sub> (3<sup>4</sup>) yang telah ditampilkan pada Tabel 3.3. Bahwa kombinasi parameter yang menggunakan level tengah berada pada urutan kombinasi ke-2. Tujuan dari percobaan dengan menggunakan kombinasi awal ini adalah untuk mengetahui peningkatan karakteristik kinerja dari masing-masing respon baik secara individu maupun secara serentak. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil respon sebelum dilakukan optimasi (kombinasi awal) dengan respon setelah dilakukan optimasi (kombinasi optimum). Pengaturan kombinasi variabel proses yang digunakan sebagai kondisi awal ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Pengaturan level kombinasi awal

parameter proses	Kombinasi awal	
	Level	Nilai
<i>Barrel temperature</i>	2	215 °C
<i>Injection pressure</i>	2	55 bar
<i>Holding Pressure</i>	2	40 bar
<i>Injection pressure</i>	2	65 mm/det

Perbandingan rata-rata respon hasil kombinasi awal dan rata-rata respon hasil kombinasi optimum dari masing-masing respon dapat dilihat pada tabel 4.13.



Tabel 4.13 Perbandingan respon hasil kombinasi awal dan respon hasil kombinasi optimum

Kombinasi	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )
Kombinasi awal	25,36	3,62
	20,83	2,74
	23,07	2,74
<b>Rata-rata</b>	<b>23,09</b>	<b>3,03</b>
Kombinasi optimum	24,30	4,48
	24,32	4,48
	24,34	4,48
	24,35	4,48
	24,80	3,62
<b>Rata-rata</b>	<b>24,42</b>	<b>4,30</b>

Sumber: Hasil pengukuran

Tabel 4.13 menunjukkan nilai rata-rata respon hasil kombinasi awal untuk tiga kali replikasi, kekuatan Tarik sebesar 23,09 MPa, dan kekuatan Impak sebesar 3,03 kJ/m<sup>2</sup>. Nilai rata-rata percobaan konfirmasi untuk lima kali replikasi kekuatan Tarik sebesar 24,42 MPa dan kekuatan impak sebesar 4,30 kJ/m<sup>2</sup>.

Langkah berikutnya yaitu perhitungan rasio S/N terhadap nilai-nilai respon yang diperoleh. Hasil perhitungan rasio S/N pada masing-masing respon percobaan pada kondisi awal ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Rasio S/N kombinasi awal

	Rasio S/N	
	Kekuatan tarik (MPa)	Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )
<b>Kombinasi awal</b>	27,1838	9,4220

Sumber: Hasil perhitungan

Setelah menghitung rasio S/N masing-masing respon kemudian dilakukan normalisasi terhadap rasio S/N untuk mendapatkan nilai GRC. Langkah terakhir adalah menentukan nilai GFRG untuk dibandingkan dengan nilai GFRG pada kondisi optimum.

Tabel 4.15 menunjukkan hasil perhitungan nilai GFRG pada percobaan dengan menggunakan kombinasi optimum adalah sebesar 0,8379 dan nilai GFRG pada percobaan dengan menggunakan kombinasi awal adalah sebesar 0,4525.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa, nilai GFRG setelah dilakukan optimasi mengalami peningkatan sebesar 45,99 % dibandingkan dengan nilai GFRG sebelum dilakukan optimasi.

Tabel 4.15 Perbandingan GFRG kondisi awal dan kondisi optimum

	GRC		GFRG
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	
<b>Kombinasi awal</b>	0,4004	0,5175	0,4525
<b>Kombinasi optimum</b>	0,9912	0,8980	0,8379
<b>Peningkatan</b>			45,99 %

Sumber: Hasil perhitungan

Karakteristik kualitas semakin besar semakin baik dari respon kekuatan Tarik dan kekuatan impak telah terpenuhi. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai dari masing-masing respon secara individu setelah dilakukan optimasi. Besarnya peningkatan nilai dari respon kekuatan tarik adalah 5,78 % dan kekuatan impak 42,02 %. Perbandingan nilai masing-masing respon secara individu sebelum dan setelah dilakukan optimasi ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbandingan respon individu pada kondisi awal dan kondisi optimum

Parameter respon	Kombinasi awal	Kombinasi optimum	Persentase	Keterangan
Kekuatan Tarik (MPa)	23,09	24,42	5,78%	peningkatan
Kekuatan Impak (kJ/m <sup>2</sup> )	3,03	4,30	42,02%	peningkatan

Sumber: Hasil perhitungan

## 4.5 Analisis Pengaruh Parameter Proses Terhadap Parameter Respon

### 4.5.1 *Barrel Temperature*

Dengan menurunkan *barrel temperature* kekuatan tarik dan kekuatan impak pada hasil cetakan bisa dioptimalkan, dengan cara menjaga suhu *barrel* pada rentang tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan menggunakan temperatur yang rendah dapat mencegah terbakarnya butiran serbuk sisal yang terdapat pada material biokomposit. Serbuk sisal yang

terbakar akan membentuk karbon didalam lelehan material biokomposit. Dengan adanya kandungan karbon tersebut mengakibatkan sifat mekanik dari spesimen menjadi lebih getas. Turunnya suhu pada *Barrel temperature* menyebabkan aliran lelehan semakin lambat, hasil produk lebih getas, dan menyebabkan *flash* (Bryce, 1996). Hasil dari optimasi taguchi-grey-fuzzy pada penelitian ini untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak yang optimal *barrel temperature* dijaga pada suhu 210 °C.

#### 4.5.2 *Injection Presssure*

*Injection pressure* adalah jumlah tekanan dibutuhkan untuk mengisi cairan material kedalam rongga cetakan. Pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9 nilai *p-value* lebih kecil  $\alpha$  (0,05) yaitu 0,007 yang menyatakan bahwa parameter ini berpengaruh secara signifikan terhadap parameter respon. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya *injection pressure* akan menyebabkan berkurangnya *shrinkage* dan *warpage* (Bryce, 1996). Berkurangnya *shrinkage* menyebabkan kekuatan impak meningkat, hal ini dikarenakan shrinkage dapat menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan pada titik tertentu pada saat pengujian impak. Berkurangnya *warpage* menyebabkan kekuatan tarik meningkat, hal ini dikarenakan warpage dapat mengakibatkan ketebalan spesimen tidak merata sehingga mempengaruhi hasil pengujian tarik.

#### 4.5.3 *Holding Pressure*

*Holding Pressure* adalah tekanan yang dibutuhkan untuk membentuk secara keseluruhan rongga cetak setelah terisi penuh, sampai tekanan akhir selesai dilakukan membentuk produk. Jika *holding pressure* tidak mencukupi akan mengakibatkan geometri spesimen uji tidak sesuai dengan geometri *cavity*, sehingga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak spesimen yang menggunakan material biokomposit. Pada tabel 4.9 nilai *p-value holding pressure* lebih kecil  $\alpha$  (0,05) yaitu 0,010 yang menyatakan bahwa parameter ini berpengaruh secara signifikan terhadap parameter respon. Pada penelitian ini dengan penambahan *holding pressure* mengakibatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak dari spesimen yang menggunakan material biokomposit meningkat.

#### 4.5.4 *Injection Velocity*

*Injection velocity* berfungsi untuk mengatur injeksi material tiap mm/detik-nya. Pada tabel 4.9 nilai *p-value injection velocity* lebih kecil  $\alpha$  (0,05) yaitu 0,004 yang menyatakan bahwa parameter ini berpengaruh secara signifikan terhadap parameter respon. Salah satu pengaruh yang ditimbulkan akibat adanya perubahan *injection velocity* adalah kemungkinan adanya *weld line*. *Injection velocity* yang rendah memperbesar peluang terjadinya *weld line*, sedangkan *injection velocity* yang tinggi akan memperkecil peluang terjadinya *weld line*. Adanya *weld line* pada spesimen akan mempengaruhi hasil dari pengujian baik pengujian tarik dan pengujian impak, dikarenakan adanya konsentrasi tegangan pada area *weld line*.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dari proses pencampuran biokomposit hingga proses pencetakan injeksi yang dioptimasi menggunakan metode Taguchi-grey-fuzzy, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Parameter-parameter proses *Barrel Temperatur*, *Injection Pressure*, *Holding Pressure* dan *Injection Velocity* berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak.
- 2) Kombinasi dari parameter proses yang signifikan untuk mengoptimalkan kekuatan tarik dan kekuatan impak adalah:
  - *Barrel temperature* diatur pada 210 °C
  - *Injection pressure* diatur pada 55 bar
  - *Holding pressure* diatur pada 40 bar
  - *Injection velocity* diatur pada 75 mm/det.

Dengan parameter tersebut kekuatan tarik meningkat dari 23,09 MPa menjadi 24,42 MPa (5,78%) dan kekuatan impak meningkat dari 3,03 kJ/m<sup>2</sup> menjadi 4,30 kJ/m<sup>2</sup> (42,02%).

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Pembuatan pelet biokomposit pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan mesin *twin screw extruder*, agar hasil pelet biokomposit yang dihasilkan campurannya lebih homogen.
- 2) Parameter proses *injection molding holding time*, *injection time*, *cooling time*, pada penelitian ini dijaga konstan. Penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh parameter-parameter proses tersebut terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak material biokomposit.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR PUSTAKA

- Basya, Rahmat. (2017), “Studi Eksperimental Variabel Proses Injeksi dan Pengaruh Komposisi Material Biokomposit (Serat Sisal, *Maleic Anhydride Polipropylene, Polypropylene*) Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak”, *Master tugas akhir yang tidak dipublikasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bryce, Douglas M. (1996) “Plastic Injection Molding,” Volume I: Fundamentals of Injection Molding series”, Society of Manufacturing Engineers, United States of America.
- Chand Navin, Prajapati S.C., Singh R.K., (2012), “Development and characterization of sisal nano fibre reinforced polyolefin composites”, *Journal of Scientific Research and Reviews* Vol. 1(3), pp. 026 - 032
- Defonseka., Chris., (2014), *Introduction to Polymeric Composites with Rice Hulls*, 1<sup>st</sup> edition, Lightning Source Inc., United Kingdom.
- Dhavamani, C. dan Alwarsamy, T. (2011), “Review On Optimization of Machining Operation,” *International Journal of Academy Research*, Vol. 3, hal. 124-132.
- Groover M.P., (2010), *Fundamentals of Modern Manufacturing: Material, Processes, and Systems*, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., United States of America.
- Kc, B, Faruk, O., Agnelli, J.A.M., Leao, A.L., Tjong, J., Sain, M., (2015), “Sisal-Glass Fiber Hybrid Biocomposite: Optimization of Injection Molding Parameters Using Taguchi Method for Reducing Shrinkage” *Composites : Part A*, hal. 1–8.
- Kuram, E., Tasci, E., Altan, A.I., Mear, M.M., (2013). “Materials and Design Investigating the Effects of Recycling Number and Injection Parameters on the Mechanical Properties of Glass-Fibre Reinforced Nylon 6 Using Taguchi Method”, *Materials and Design*, Vol. 49, hal. 139–150.
- Kusumastuti, A., (2009), “Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer”, Jurusan Teknologi Jasa dan Produksi, Universitas Negeri Semarang.

- Lin, J. L. dan Lin, C. L. (2002), "The Use of Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize the Electrical Discharge Machining Process Performance with Multiple Characteristics," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, hal. 237–244.
- Pilla, S., (2011), *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Application*, Scrivener Publishing LLC, Massachusetts.
- Ross, P.J., (1996), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, MC Graw Hill Companies Inc., Taiwan.
- Santoso, B., (2009), *Peluang Pengembangan Agave Sebagai Sumber Serat Alam. Indonesian Tobacco and Fiber Crops Research Institute*. Malang.
- Singh, G., Pradhan M.K., Verma A., (2015), "Effect of Injection Moulding Process Parameter on Tensile Strength Using Taguchi Method" *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 09, No. 10.
- Soejanto, I., (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Subasinghe, A.D.L., Das, R., Bhattacharyya, D., (2015), "Fiber Dispersion during Compounding / Injection Molding of PP / Kenaf Composites : Flammability and Mechanical Properties." *JMADE*, Vol. 86, hal. 500–507.
- Sudhakara, P., (2013), "Manufacturing and Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Hybrid Composites", Department of Mechanical Engineering, Changwon National University, Changwon.
- Salamoni, T.D., (2017), "Optimasi Kekuatan Tarik dan Impak Material Biokomposit pada Proses Mesin Cetak Sistem Injeksi Menggunakan Metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dan *Genetic Algorithm* (GA)", *Master Tesis yang tidak dipublikasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sufiyanto, (2016), "Optimasi Parameter Proses Cetakan Injeksi Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy untuk Meningkatkan Kekuatan Tarik dan Impak Material Biokomposit", *Master Tesis yang tidak dipublikasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.



Wisnu, Muh. Arif, (2017), “Studi Eksperimental Pengaruh Komposisi Pelet Biokomposit (*Polypropylene*, Serat Sisal dan *Maleic Anhydride Polypropylene*) Terhadap Sifat *Thermal* Dan Struktur Permukaan Sebagai Material Alternatif Produk Plastik”, *Master tugas akhir yang tidak dipublikasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Nganjuk pada tanggal 01 Maret 1990, merupakan anak terakhir dari enam bersaudara pasangan suami istri Sastro Diwiryono dan Marni. Penulis memulai pendidikannya di TK Tertiwi Ds. Banaran Wetan pada tahun 1995, kemudian melanjutkan ke SDN Banaran Wetan 1, lulus pada tahun 2002. SMP Negeri 1 Bagor, lulus pada tahun 2005. SMA Negeri 1 Rejoso, lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri tepatnya di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Gelar sarjana teknik diperoleh setelah menamatkan pendidikan pada tahun 2013. Penulis melanjutkan studi S2 di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014, dengan konsentrasi bidang Rekayasa Sistem Manufaktur.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]